

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires  
Spécialité : Production et transformation laitière



Réf : .....

Mémoire de fin de cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

*Enrichissement de quelques matrices  
alimentaires par les extraits naturels*

Présenté par :

**ABBACI Nadjat & SAOUDI Salima**

Soutenu le : 28 Septembre 2021

Devant le jury composé de :

|                               |            |              |
|-------------------------------|------------|--------------|
| M <sup>me</sup> BOULEKBACHE L | Professeur | Présidente   |
| M <sup>lle</sup> BRAHMI F     | MCA        | Encadreur    |
| M <sup>me</sup> GUENDOZ N     | MCB        | Examinatrice |

**Année universitaire : 2020/2021**

# Remerciements

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements pour le bon DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de terminer nos études.*

*Nous remercions vivement notre chère promotrice chargée du suivi de ce travail « M<sup>elle</sup> Brahmí Fatíha » pour son aide et son soutien, pour ses conseils précieux, ses orientations et sa disponibilité*

*Nous tenons à remercier chaleureusement tout le personnel du laboratoire pour leur accueil, leur disponibilité, leur bonne humeur permanente et les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer.*

*Nos sincères remerciements au personnel de l'entreprise ORLAC de nous avoir reçu, pour leur sympathie et pour leurs soutiens.*

*Nous adressons nos vifs et sincères remerciements aux membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'évaluer ce modeste travail.*

**ABBACI Nadjet**

**SAOUDI Salima**



## ***Je dédie ce modeste travail***

*A la personne qui est la plus chère dans ma vie pour sa générosité, son soutien et sa patience  
face aux moments difficiles traversés au cours de ma vie : ma mère*

*A la mémoire de mon défunt père que dieu l'accueille dans son vaste paradis*

*A mes sœurs Nacira, Louiza, Karima et Sylia*

*A mes grands frères Aziz, Hakim et leurs épouses Nadia, Nawel*

*A mon petit et adoré frère Karim*

*A mes beaux- frères Fatah et AbdeRahim*

*A mes chers neveux et nièces : Anaïs, Anis, Yossra, NourElhoda, Aya, Ahcène et Wassim*

*A ma binôme Salima*

*A toutes mes copines surtout Houda, Yasmine, Nesrine, Farah, Fatima, Melissa, Lydia,*

*A notre chère promotrice « M<sup>elle</sup> Brahmi »*

*A toute ma famille de petits aux grands*

*A tous les étudiants de sciences Alimentaire*

*Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*



## ***Je dédie ce modeste travail à***

*Mon cher père, un homme qui a vécu pour sa famille.*

*<<J'espère mon père est fier de moi>>*

*Ma chère mère, une femme qui a sacrifié sa vie pour ces enfants.*

*<< Ma mère j'espère que je serai toujours à la hauteur de tes attentes>>*

*<<Que dieu leurs prêtent santé>>*

*Mes chères et adorables sœurs Sabah, Wahiba, Ramiza et Wissame.*

*Mes chers frères Lamine, Mohamad, Rabah et leurs épouses Hayate, Razika et Samiya*

*A mon petit cher frère Yanis*

*A mon cher fiancé (Malek) et sa famille, qui n'a jamais cessé de croire en moi, source d'amour et de tendresse sans toi ma vie sera plus difficile.*

*A mes chers neveux et nièces : Serine, Milisa, Ghafour, Ghilase, Iselam, Remaisa, Fayze, Fahme, Fouad, Boualame.*

*Tous mes amis Nesrine, Asma, Sabahe, Wissame, Merieme, Kahina, Farah*

*A ma chère grande mère<<Rebiha>>*

*Ma binôme Nadjat et toute sa famille.*

*A notre chère promotrice <<M<sup>elle</sup> Brahmi F>>.*

*Salima*

# Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction.....01**

## Synthèse bibliographique

### I. Généralités sur les échantillons étudiés

|   |    |
|---|----|
| 1. Généralités sur le figuier de Barbarie.....                                  | 03 |
| 1.1. Origine du figuier de barbarie.....  | 03 |
| 1.2 Définition de figuier de barbarie ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....      | 03 |
| 1.3 Taxonomie du figuier de barbarie.....                                       | 04 |
| 1.4 Composition chimique du figuier de barbarie.....                            | 04 |
| 1.5 Importance et domaine d'utilisation.....                                    | 05 |
| 2. Généralités sur la pomme de terre .....                                      | 07 |
| 2.1. Pomme de terre.....  | 07 |
| 2.1.1 Origine et description botanique.....                                     | 07 |
| 2.1.2 Classification.....   | 08 |
| 2.1.3 Composition chimique.....   | 08 |
| 2.1.4 Caractéristique physiques et organoleptiques.....                         | 09 |
| 2.1.5 Utilisation et transformation des pommes de terre par les industries..... | 10 |
| 2.2. Epluchure de pomme de terre.....   | 10 |
| 2.2.1 Définition.....   | 10 |
| 2.2.2 Composition chimique.....   | 11 |
| 2.2.3 Utilisation des pelures dans les industries agro-alimentaire.....         | 11 |

### II. Généralités sur le lait, laits fermentés et yaourt

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. Lait.....                      | 13 |
| 1.1 Définition du lait.....       | 13 |
| 1.2 Différents types de lait..... | 13 |
| 1.3 Composition du lait.....      | 13 |
| 2. Lait fermenté.....             | 14 |
| 2.1 Définition.....               | 14 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2 Différents types de laits fermentés.....               | 14 |
| 3. Yaourt.....   | 15 |
| 3.1 Définition.....  | 15 |
| 3.2 Composition de yaourt .....                            | 15 |
| 3.3 Intérêts nutritionnels et thérapeutique du yaourt..... | 15 |
| 3.4 Bactéries spécifiques du yaourt.....                   | 16 |
| 3.5 Technologie de fabrication du yaourt.....              | 18 |

### **III. Matériels et méthodes**

|  |    |
|--|----|
| 1. Matériel végétal.....   | 21 |
| 1.1 Récolte d'échantillons.....  | 21 |
| 1.2 Teste d'humidité.....  | 21 |
| 1.3 Préparation des échantillons.....  | 21 |
| 2. Extraction.....   | 21 |
| 2.1 Optimisation des paramètres d'extraction.....                            | 22 |
| 2.1.1 Etude préliminaire.....  | 22 |
| 2.1.2 Optimisation.....  | 22 |
| 3. Dosage des composés phénoliques.....                                      | 23 |
| 3.1 Dosages des polyphénols totaux.....                                      | 23 |
| 3.2 Dosages des flavonoïdes.....   | 24 |
| 4. Evaluation de l'activité antioxydante.....                                | 24 |
| 4.1 Test au DPPH°.....   | 24 |
| 4.2 Pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium.....                    | 25 |
| 5. Fabrication de yaourt.....  | 25 |
| 5.1 Analyses physico-chimiques.....  | 26 |
| 5.1 .1 Détermination du pH.....  | 26 |
| 5 .1 .2 Détermination des cendres.....                                       | 27 |
| 5 .1 .3 Mesure de l'acidité titrable.....                                    | 27 |
| 5 .1 .4 Brix.....  | 28 |
| 6. Détermination de la teneur en antioxydants dans les yaourts élaborés..... | 28 |
| 6.1 Extraction des composés phénoliques totaux.....                          | 28 |
| 6.2 Extraction et dosage des flavonoïdes.....                                | 29 |
| 6.3 Evaluation des activités antioxydants.....                               | 29 |
| 7. Analyse sensorielle.....  | 29 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 7.1 Evaluation sensorielle..... | 29 |
| 8. Etude statistique.....       | 29 |

## **IV. Résultats et discussion**

|   |           |
|---|-----------|
| 1. Humidité.....  | 30        |
| 2. Etude préliminaire.....                                      | 31        |
| 2.1 Effet de la concentration en éthanol.....                   | 31        |
| 2.2 Effet de temps d'extraction.....                            | 32        |
| 2.3 Effet de ratio.....   | 33        |
| 2.4 Optimisation par la méthodologie de surface de réponse..... | 34        |
| 2.4.1 Dosage des flavonoïdes.....                               | 42        |
| 2.5 Evaluation des activités antioxydants.....                  | 43        |
| 3. Analyse physico-chimique des yaourts élaborés.....           | 44        |
| 3.1 Humidité.....   | 44        |
| 3.2 pH.....   | 45        |
| 3.3 Acidité titrable.....                                       | 45        |
| 3.4 Brix.....   | 45        |
| 3.5 Cendres.....  | 45        |
| 4. Teneurs en antioxydants des yaourts élaborés.....            | 46        |
| 4.1 Teneur en composés phénoliques totaux.....                  | 46        |
| 4.2 Teneur en flavonoïdes.....                                  | 46        |
| 5. Activité antioxydante des yaourts élaborés.....              | 46        |
| 6. Résultats de l'analyse sensorielle.....                      | 47        |
| 6.1. Test du plan d'expérience.....                             | 47        |
| 6.2. Caractérisations des produits.....                         | 48        |
| 6.2.1. Pouvoir discriminant par descripteur.....                | 48        |
| 6.2.2. Coefficients des modèles.....                            | 49        |
| 6.2.3. Moyennes ajustées par produit.....                       | 50        |
| 6.2.4. Analyse en composantes principales (ACP).....            | 50        |
| <b>Conclusion.....</b>  | <b>52</b> |

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

## *Liste des abréviations*

AFNOR : Association Française de Normalisation

DPPH : 1,1- diphényl -2- picrylhydrazyl

IC<sub>50</sub> : Concentration inhibitrice à 50%

JORA : Journal Officiel De la République Algérienne

MRS : méthodologie de surface de réponse

OFI : *Opuntia ficus-indica*

TFC : Flavonoïdes totaux

TPC : composés phénoliques totaux

MS : Matière sèche

## *Liste des figures*

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 01</b> : Photographie du figuier de Barbarie.....   | 3  |
| <b>Figure 02</b> : Schéma représentant de la transformation agroalimentaire de la figue de barbarie.....  | 7  |
| <b>Figure 03</b> : Procède de transformation industrielle de la pomme de terre.....   | 10 |
| <b>Figure 04</b> : Aspect des cellules de <i>L. bulgaricus</i> sous le microscope électronique.....   | 16 |
| <b>Figure 05</b> : Aspect des cellules de <i>S. thermophilus</i> sous le microscope électronique.....   | 17 |
| <b>Figure 06</b> : Mécanisme réactionnel de réduction du radical DPPH.....  | 24 |
| <b>Figure 07</b> : Diagramme de fabrication d'un yaourt brasé à basse d'épluchure de pomme de terre et cladodes.....  | 26 |
| <b>Figure 08</b> : Taux d'humidité des cladodes et d'épluchure de pomme de terre.....   | 30 |
| <b>Figure 09</b> : Influence de la concentration du solvant sur le taux de TPC des extraits de cladodes et d'épluchure de pomme de terre.....                     | 31 |
| <b>Figure 10</b> : Influences du temps d'extraction sur les teneurs en polyphénols totaux des extraits des cladodes et d'épluchure de la pomme de terre.....      | 32 |
| <b>Figure 11</b> : Influences de la ration sur le taux des polyphénols totaux des extraits des cladodes et des épluchures de la pomme de terre.....               | 33 |
| <b>Figure 12</b> : Graphique des valeurs observées en fonction de la valeur prévue pour les cladodes du figuier de barbarie et d'épluchure de pomme de terre..... | 36 |
| <b>Figure 13</b> : Surface de réponse des interactions temps-concentration en éthanol et temps-ratio pour les cladodes de figuier de barbarie.....                | 39 |
| <b>Figure 14</b> : Surface de réponse des interactions temps-concentration en éthanol et temps-ratio pour l'épluchure de la pomme de terre.....                   | 39 |
| <b>Figure 15</b> : Valeurs des paramètres optimales de l'extraction des composés phénoliques totaux à partir des cladodes du figuier de barbarie.....             | 40 |
| <b>Figure 16</b> : Valeur du paramètre optimale de l'extraction des composés phénoliques totaux à partir d'épluchure de la pomme de terre.....                    | 41 |
| <b>Figure 17</b> : Teneurs des extraits obtenus dans les conditions optimales des épluchures de la pomme de terre et des cladodes.....                            | 42 |
| <b>Figure 18</b> : Teneur d'épluchure de la pomme de terre et des cladodes en flavonoïdes.....  | 43 |
| <b>Figure 19</b> : Teneurs en polyphénols totaux des yaourts élaborés.....  | 46 |
| <b>Figure 20</b> : Teneurs en flavonoïdes des yaourts élaborés.....   | 47 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 21</b> : Pouvoir discriminant par descripteur.....   | <b>48</b> |
| <b>Figure 22</b> : Coefficients des modèles des échantillons du yaourt A, du yaourt B et yaourt C..... | <b>49</b> |
| <b>Figure 23</b> : Corrélations entre les variables et les facteurs.....                               | <b>51</b> |

## *Liste des tableaux*

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau I</b> : Composition chimique des différentes parties <i>d'opuntia</i> .....   | <b>05</b> |
| <b>Tableau II</b> : Composition chimique de la pomme de terre.....   | <b>09</b> |
| <b>Tableau III</b> : Composition chimique d'épluchure de la pomme de terre.....  | <b>11</b> |
| <b>Tableau IV</b> : Composition moyenne du lait selon les espèces en g /L.....   | <b>14</b> |
| <b>Tableau V</b> : Composition nutritionnelle de yaourt nature.....  | <b>15</b> |
| <b>Tableau VI</b> : Conditions d'extraction utilisées dans l'étude préliminaire de l'extraction des composés phénoliques assistée par macération.....                | <b>22</b> |
| <b>Tableau VII</b> : Niveaux des facteurs choisis pour les essais de l'extraction.....   | <b>23</b> |
| <b>Tableau VIII</b> : Plan et résultats d'optimisation des conditions d'extraction par plan central composite précis pour l'extraction des échantillons étudiés..... | <b>35</b> |
| <b>Tableau IX</b> : Analyse de la variance des résultats expérimentaux des cladodes.....   | <b>37</b> |
| <b>Tableau X</b> : Analyse de la variance des résultats expérimentaux des épluchures de la pomme de terre.....   | <b>38</b> |
| <b>Tableau XI</b> : Valeurs d'IC <sub>50</sub> des tests DPPH et phosphomolybdate.....   | <b>43</b> |
| <b>Tableau XII</b> : Paramètres physico-chimiques des yaourts élaborés.....  | <b>44</b> |
| <b>Tableau XIII</b> : Valeurs d'IC <sub>50</sub> du teste DPPH et phosphomolybdate des yaourts élaborés.....   | <b>47</b> |
| <b>Tableau XV</b> : Evaluation du plan d'expériences.....  | <b>48</b> |
| <b>Tableau XVI</b> : Moyennes ajustées par produit.....  | <b>50</b> |

# **Introduction**



Les études expérimentales indiquent une corrélation négative entre la consommation des régimes riches en fruits et légumes et les risques de maladies cardiovasculaires, les cancers et l'inflammation chronique. Ces fonctions physiologiques des fruits et légumes peuvent être en partie attribuées à leur richesse en composés phénoliques. Les avantages liés à la consommation des aliments contenant ces métabolites secondaires sont associés à leur activité antioxydante (**EL Hajaji et al., 2011**).

Les antioxydants connaissent un intérêt croissant pour des applications dans les industries agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique. En effet, leur utilisation est encouragée, car les produits équivalents issus de synthèses chimiques ont un mauvais impact sur la santé du consommateur. Il existe donc un besoin de production d'extraits riches en antioxydants à partir de différentes sources végétales (**Alessandro et al., 2012**).

Les composés phénoliques peuvent être isolés facilement à partir d'un tissu végétal par extraction avec des solvants organiques, leur extraction dépend de la méthode d'extraction, la nature chimique de ces composés et le temps d'extraction. Le matériel végétal a ses propriétés uniques en termes d'extraction de ces composés (**Telli et al., 2010**).

Dans cette étude nous sommes intéressés à l'étude du figuier de barbarie (les cladodes) et d'épluchures de la pomme de terre. Les cladodes constituent un sous-produit qui pourrait être exploités dans de nombreuses applications. Elles sont caractérisées par leur effet sur la santé et leurs richesses en composés bioactifs (**Boutakiout, 2015**). Les épluchures de la pomme de terre contiennent toute une série de composants importants sur le plan nutritionnel et qui peuvent être utilisés dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique (**Charmley et al., 2019**).

Ainsi, ce travail de recherche vise à répondre à plusieurs questions notamment :

Quelles sont les meilleures conditions d'extraction d'antioxydants (composés phénoliques) à partir des sous produits de la pomme de terre et du figuier de barbarie choisis ?

Ces antioxydants peuvent-ils être utilisés dans la formation des produits alimentaires ?

Pour cela notre travail est divisé en trois parties :

- Une partie consacrée pour la synthèse bibliographique (généralités sur le figuier de barbarie, les épluchures de la pomme de terre et les laits fermentés) ;
- Une partie consacrée à la description du matériel et des méthodes utilisées ;

- Partie relative résultats et discussion ;
- La dernière partie concerne la conclusion tirée de ce travail.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les échantillons étudiés**

## 1. Généralités sur le figuier de Barbarie

### 1.1. Origine du figuier de barbarie

*Opuntia ficus-indica* (OFI) est un cactus originaire de Mexique (Malainine et al., 2001). Il a été introduit au sud de l'Espagne suite à la première expédition de Colombus au nouveau monde. Par la suite, il a été propagé dans tout le bassin méditerranéen lors du 17<sup>ème</sup> siècle (Bouzoubaâ et al., 2014). Il est cultivé dans les climats arides comme les régions d'Amérique centrale, et semi-arides.

Le genre *Opuntia* contient environ 300 espèces, parmi ces espèces il existe *Opuntia ficus-indica* (inermes ou sans épines) et *Opuntia megacantha* (épineuse) largement connu sous le nom de figuier de barbarie (Boutakiout, 2015).

### 1.2. Définition du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*)

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une plante xérophyte de la famille des cactées (Bouguerche et al., 2019). C'est une plante très robuste et très ramifiée, avec un tronc épais qui peut mesurer jusqu'à 5 cm de hauteur (Figure 1). Son incroyable vitalité lui permet de se propager dans les zones désertiques (Habibi, 2004).



**Figure 02 :** Photographie du figuier de barbarie (Boutakiout, 2015)

### 1.3. Taxonomie du figuier de Barbarie

La classification du cactus (*Opuntia ficus-indica*) communément connu sous le nom de figuier de barbarie est la suivante (Neffar, 2012).

Règne: Plantae

Sous règne: Trachéobionta.

Embranchement: Phanérogames.

Sous embranchement: Magnoliophyta.

Classe: Magnoliopsida.

Sous classe: Caryophyllidae.

Ordre: Caryophyllales.

Famille: Cactaceae.

Sous Famille: Opuntioideae.

Tribu: Opuntieae.

Genre: *Opuntia*.

Sous genre: *Platyopuntia*.

Espèce: *Opuntia ficus-indica*.

Sous espèce: *Opuntia*.

### 1.4. Composition chimique du figuier de barbarie

La composition chimique de figuier de barbarie diffère d'une partie à une autre.

**Cladodes** : la teneur en eau des cladodes fraîche varient de 80% à 90% (Benattia, 2017).

**Fleur** : elle est caractérisée par la présence d'anthocyanines (Dib et al., 2013).

**Fruit** : la figue de barbarie est composée de 48% d'écorce et 52% de pulpe. Cette dernière contient 88% de jus et 12% de graines (Kaanane, 2000).

Il est signalé que les différentes parties de figuier de barbarie (cladode, fruit, fleur) sont riches en minéraux tels que le calcium, magnésium, potassium, phosphore, cuivre, sodium et fer. Elles sont également une excellente source de protéines, y compris les acides aminés essentiels, en particulier la proline et la sérine (Habibi, 2004).

Les fibres du nopal sont sous forme de lignine, de cellulose, d'hémicellulose, de pectine et de mucilages (Schwiezer, 1997). Ils contiennent également des vitamines A, B1, B2 B3 et C. Les autres composés présents dans les différentes parties d'*Opuntia* sont présentés dans le tableau suivant :

## Généralités sur les échantillons étudiés

**Tableau I :** Composition chimique des différentes parties d'*Opuntia*.

| <b>Composition brut de fruit d'<i>Opuntia</i> (g/g de matière sèche) (% Fibres totales)</b><br>(EL Kossori et al., 1998) |   |                         |        |
|--|---|-------------------------|--------|
| Fibre %  | Pupe                                    | Graine                  | Ecorce |
| Hémicellulose  | 15,5                                    | 9,95                    | 20,8   |
| Cellulose  | 14,2                                    | 83,2                    | 71,4   |
| Pectine  | 70,3                                    | 6,69                    | 7,71   |
| Lignine  | 0,01                                    | 0,19                    | 0,06   |
| <b>Composition chimique des Cladodes et des épines de L'OFI. (Malainine et al. 2001)</b>                                 |   |                         |        |
| Constituant  | Cladodes (% en poids sec)               | Epines (% en poids sec) |        |
| Cendres  | 19,6                                    | 1,3                     |        |
| Graisses et cires  | 7,2                                     | 1,2                     |        |
| Lignine  | 3,6                                     | 1,2                     |        |
| Cellulose  | 17,5                                    | 61,8                    |        |
| Autres polysaccharides   | 28,6                                    | 34,5                    |        |
| <b>Composition chimique des graines des figues de barbarie. (Habibi., 2004)</b>  |   |                         |        |
| Constituant  | Pourcentage(%)                          |                         |        |
| Eau  | 5-6                                     |                         |        |
| Huile  | 7-8,5                                   |                         |        |
| Minéraux   | 1,3                                     |                         |        |
| Protéines  | 11-12                                   |                         |        |
| Cellulose  | 30                                      |                         |        |
| Autres polysaccharides   | 27                                      |                         |        |
| <b>Composition moyenne de la fleur d'<i>Opuntia</i>. (Habibi., 2004)</b>   |   |                         |        |
| Constituants   | % en poids par rapport à la masse sèche |                         |        |
| Cires  | 9-11                                    |                         |        |
| Minéraux (cendres)   | 7-8                                     |                         |        |
| Lignine klaxon   | 2-3                                     |                         |        |
| Cellulose  | 27                                      |                         |        |
| Protéines  | 8-10                                    |                         |        |
| Autres polysaccharides   | 40-45                                   |                         |        |

### 1. 5. Importance et domaine d'utilisation

La recherche concernant le figuier de barbarie a augmenté au cours des deux dernières décennies due à son importance économique qui est liée à son utilisation comme nourriture et fourrage ainsi qu'à son potentiel nutraceutique (Angulo-Bejarano et al., 2014).

- La figue de barbarie peut être considérée comme un aliment important, nutritif et fonctionnel ; elle est connue en médecine traditionnelle par ses actions hypoglycémiques et hypolipidémiques (Cassano et al., 2009).

## Généralités sur les échantillons étudiés

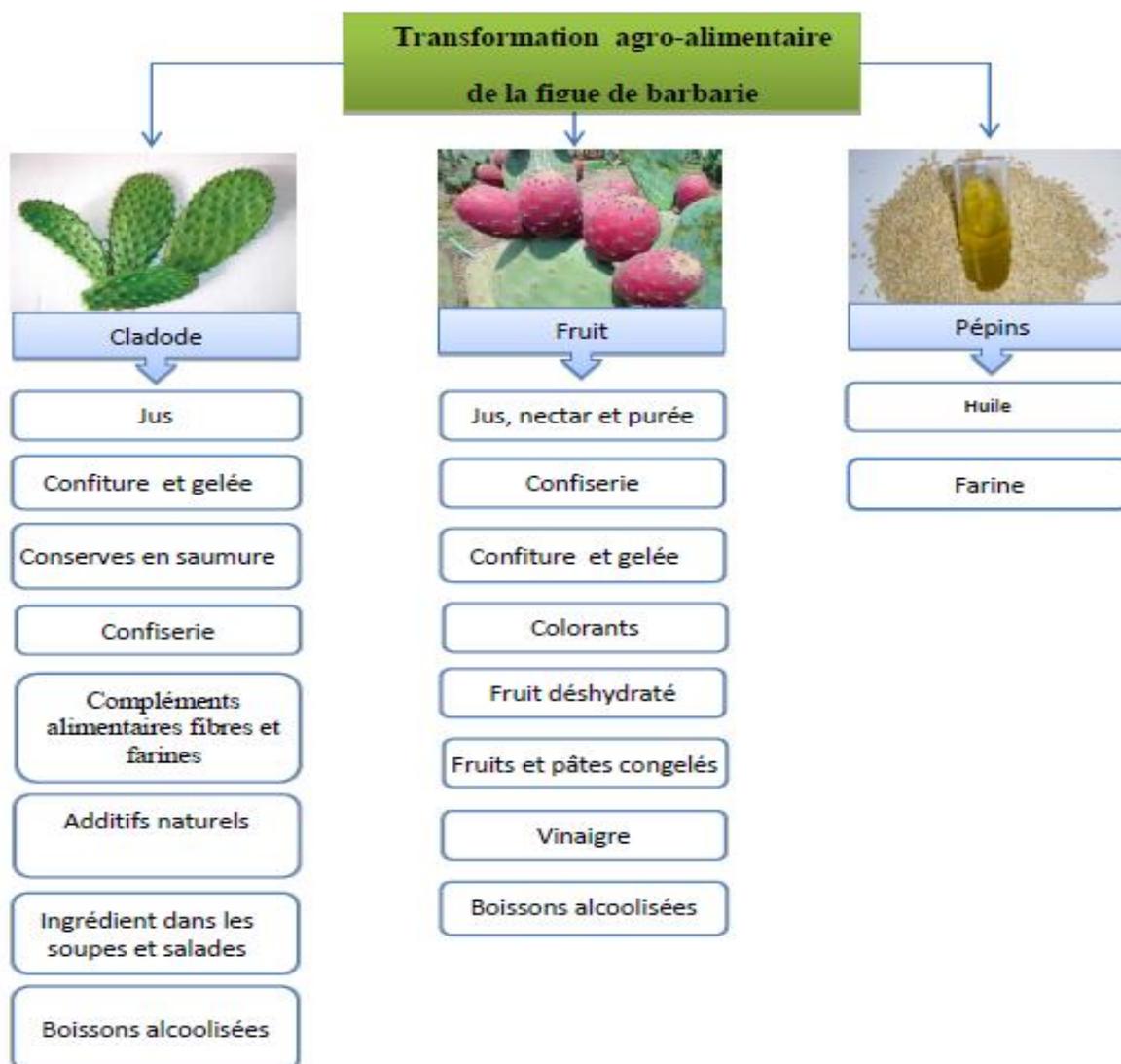
---

- ▶ Les cladodes : elles sont conseillées pour les diabètes à adiabatisme indépendant de l'insuline car leur consommation peut améliorer le contrôle du sucre chez ces patients et peut réduire le taux du cholestérol dans le sang (**Amel, 2015**).
- ▶ Engrais vert : les résidus des raquettes ou des fruits constituent un excellent fertilisant, et fournit un excellent bois de chauffage et une flamme éclairante (**Boutakiout, 2015**).

Le cactus est utilisé pour lutter contre l'érosion et comme obstacle contre les incendies car il résiste au feu (**Chougui, 2014**). Le fruit est utilisé dans certaines industries agro-alimentaires comme la fabrication des boissons, des confitures et des édulcorants naturels liquides (**Abdel-Hameed et al., 2014**). Ses sont incorporées, en Algérie, dans la nourriture des brebis pour satisfaire leur besoins énergétique, leur utilisation comme complément alimentaire est recommandée dans les zones sèches (**Louacini et al., 2012**).

Le fruit est utilisé comme vinaigre qui possède des bienfaits thérapeutiques multiples : substances antibiotiques et antibactérien (**Bannani, 2011 ; Cherif, 2016**).

La figure 2 illustre un schéma technologique de la transformation agro-alimentaire de la figue de barbarie.



**Figure 02:** Schéma représentant de la transformation agroalimentaire de la figue de Barebarie (Pimienta-Barrios, 1994 ; Saenz, 2000 ; Stintzing et Carle, 2005 ; Araba, 2009 ; Saenz, 2013).

## 2. Généralités sure la pomme de terre

### 2.1 Pomme de terre

#### 2.1.1. Origine et description botanique

##### ► Origine

La pomme de terre était connue en dehors des Andes (Amérique du sud) il y a quatre siècles est devenue un composant nécessaire dans la plupart des cuisines du monde. Après le riz, le blé, et le maïs, c'est la quatrième plus grande culture vivrière au monde (Mahgoub et al., 2015).

En Algérie, la pomme de terre a probablement, été introduite une première fois au XVI<sup>ème</sup> siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : to,

poivron, maïs, tabac...mais n'ayant pas suscité d'intérêt, elle est tombée dans l'oubli. Au cours de la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, la pomme de terre serra cultivée par les colons pour leurs propres besoins, car les algériens avaient une réticence vis-à-vis de cette culture. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui viendra à bout de cette opposition (**Méziane, 1991**).

### ► Description botanique

La pomme de terre est une plante herbacée, tubéreuse, à feuilles caduques (elle perd ses feuilles et ses tiges aériennes dans la saison froide), à port dressé, qui peut atteindre 1 m de hauteur (**Dimitri Milan, 1987**), plus ou moins étalé avec l'âge. C'est une vivace grâce à ses tubercules, à condition que le climat leur permette de survivre à la saison froide ; mais elle est cultivée comme une plante annuelle (**Burkart, 1987**).

Du point de vue botanique elle n'est pas un légume racine mais un légume tige : les tubercules sont des tiges souterraines transformées (**Pelt, 2009**).

### 2.1.2. Classification

Selon le système international de classification du règne végétal, la pomme de terre se classe comme suit:

Embranchement: Phanérogames

Classe : Dicotylédones

Ordre : Tubi florales

Famille : Solanacées

Genre : Solanum

Espèce : *Solanum tuberosum* L. (**Bourget, 1998**).

### 2. 1.3. Composition chimique

La composition chimique de la chair de la pomme de terre est illustrée dans le tableau II.

**Tableau II : composition chimique de la pomme de terre (Smith, 1987).**

| Paramètres              | Valeurs moyennes |
|-------------------------|------------------|
| <b>Eau</b>              | 78,30 g          |
| <b>Glucides</b>         | 16,70 g          |
| <b>Fibres</b>           | 1,80 g           |
| <b>Vitamines B6</b>     | 0,34 mg          |
| <b>Potassium</b>        | 363 mg           |
| <b>Apport calorique</b> | 80 Kcal/100 g    |

### ❖ **Caractéristiques de composition (hors macronutriments, vitamines et minéraux)**

La pomme de terre renferme des polyphénols dans la peau et dans la chair. Cependant, ils sont présents en plus grande quantité dans la peau (Akyol, 2016). La teneur en polyphénols varie d'une variété à l'autre. Une étude a mis en évidence que les pommes de terre de chair colorée sont plus riches en composés phénoliques que les pommes de terre traditionnelles à chair jaune (Rytel, 2014 ; Ru, 2019).

Les acides phénoliques qui prédominent dans la pomme de terre sont l'acide chlorogénique et ses isomères, ce qui représente environ 90% de la teneur en composés phénoliques totaux avant épluchage (Rytel, 2014).

Tandis que, le flavonoïde le plus abondant dans la pomme de terre est la catéchine, bien que la rutine, la quercétine ont aussi été quantifiées (Akyol, 2016).

#### **2.1.4. Caractéristiques physiques et organoleptiques**

Il existe différentes variétés de pomme de terre, dont la pomme de terre de couleur violette. Cette couleur est due principalement à la présence d'anthocyanes (Liu, 2014). Il existe également des variétés de couleur rouge, blanche et jaune.

La texture de la pomme de terre varie en fonction de la teneur en amidon et de sa structure, et du taux d'hydratation. Sa fermeté diminue en fonction de la cuisson : cuite au four > bouillie > frite (Romano, 2018). La cuisson a un impact majeur sur le goût et la saveur des pommes de terre. La gélatinisation de l'amidon apparaît comme le phénomène majeur dans la libération des arômes de la pomme de terre (Descours, 2013).

## 1.5. Utilisations et transformations des pommes de terre par les industries

Le marché de la pomme de terre transformée et destinée à l'alimentation se compose de quatre grands marchés qui fournissent une quarantaine de produits : les frites et les autres spécialités surgelées, les produits déshydratés/ flacons pour purée, les chips et les produits cuits sous vide (Tabarly, 2009).

Le procédé de fabrication de l'industrie de la pomme de terre est illustré dans la figure ci-dessous.

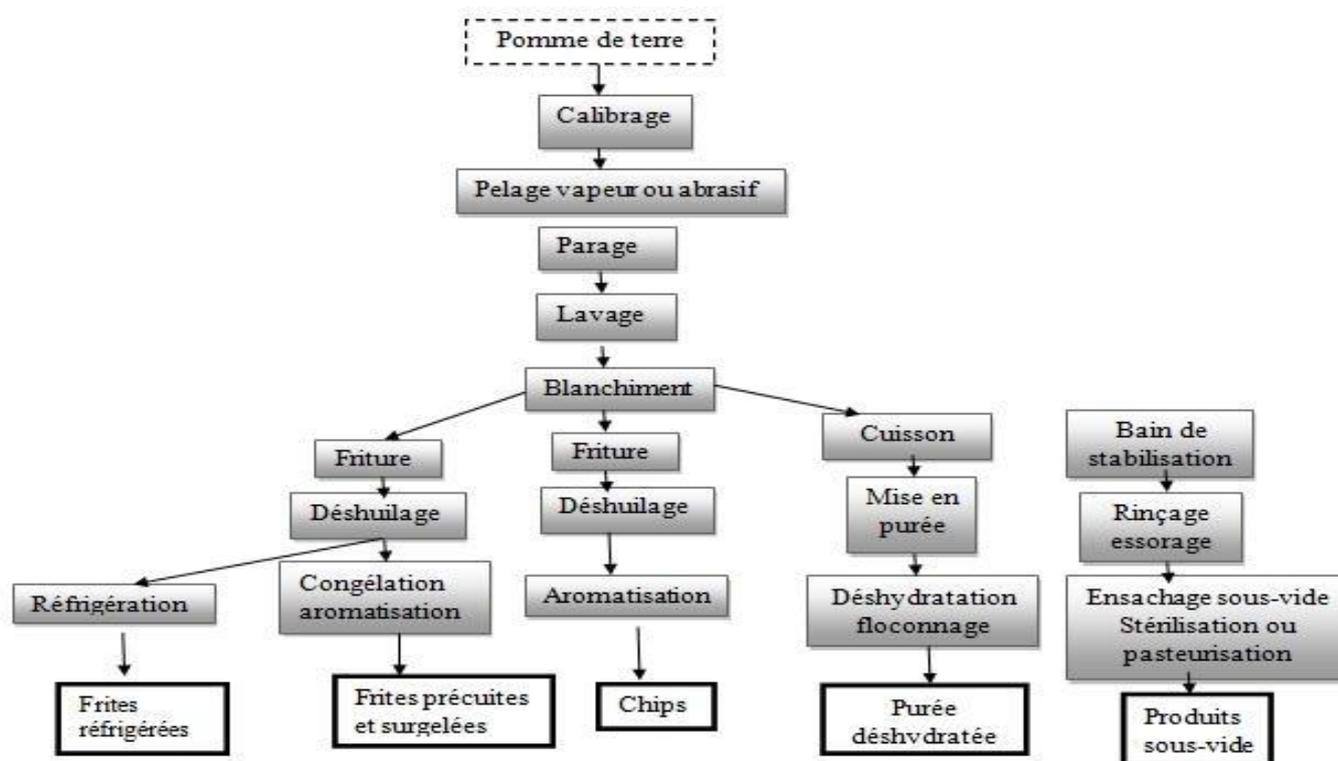


Figure 03: Procédé de transformation industrielle de la pomme de terre (Tabarly, 2009).

## 2.2. Epluchure de la pomme de terre

### 2.2.1. Définition

La pelure de pomme de terre est un sous-produit obtenu lors de la transformation des pommes de terre en produits à valeur ajoutée. Elle constitue environ un quart de l'intrant de l'usine de transformation de la pomme de terre. Bien qu'elle soit considérée comme un produit de valeur nulle, la peau de la pomme de terre contient toute une série de composants importants sur le plan nutritionnel qui peuvent être utilisés dans les industries alimentaire et pharmaceutique (Charmley et al., 2019). Elle est une excellente source de fibres

alimentaires, composés phénoliques, de glycoalcaloïdes et d'anthocyanines (dans les variétés colorées) ainsi que de vitamines et de minéraux, notamment les vitamines C et B1, B2, B3, le calcium, le phosphore et le fer (Maldonado et al., 2014).

### 2.2.2. Composition chimique

La composition chimique d'épluchures de la pomme de terre est donnée dans le tableau II.

**Tableau III :** Composition chimique d'épluchure de la pomme de terre (Arapoglou et al., 2009).

| Composition | Concentration % |
|-------------|-----------------|
| Eau         | 85,1            |
| Protéines   | 2,3             |
| Lipides     | 0,1             |
| Glucides    | 12,4            |
| Amidon      | 7,8             |
| Fibres      | 2,5             |

### 2.2.3. Utilisation des pelures dans les industries agro-alimentaires

#### Source de fibres alimentaires

Différentes sources de fibres alimentaires ont été utilisées pour remplacer la farine de blé dans la préparation de produits de boulangerie. Les travaux sur l'incorporation de la peau de pomme de terre comme source de fibres alimentaires dans les produits de boulangerie ont débuté dans les années 1970. (Toma et al., 1979 ) ont signalé que Les pelures de pomme de terre étaient supérieures au blé en termes de teneur en fibres alimentaires totales, de capacité de rétention d'eau et de faible quantité d'amidon.

Lorsqu'elle est introduite dans le pain, la pelure de pomme de terre a augmenté le noircissement de la mie et réduit le volume du pain. Une odeur de moisi dans les pains incorporant de la pelure de pomme de terre pouvait être diminuée par l'extrusion de la pelure de pomme de terre (Orr et al., 1982).

#### Source d'antioxydants naturels

La peau de la pomme de terre est une riche source de composés phénoliques qui sont de puissants antioxydants (Lisinska et al., 1987) et sont connus pour avoir des effets anti-

cancérigènes. Bien que la puissance (l'efficacité et la stabilité) des antioxydants de la pelure de pomme de terre fasse encore l'objet de recherches, ils semblent être une alternative prometteuse en tant que antioxydants " clean label " par rapport à ceux d'origine synthétique (Thorat et al., 2013).

Les extraits de la peau de pomme de terre ont démontré une forte activité de piégeage des radicaux libres dans des systèmes alimentaires (De Sotillo et al., 1994a, b). Les composés phénoliques prédominants dans la pelure de la pomme de terre sont l'acide chlorogénique, l'acide gallique, l'acide caféique et l'acide protocatéchique (Lisinska et Leszczynski, 1987).

### Agent antimicrobien

Les antimicrobiens naturels tels que les composés soufrés d'oignon et l'ail, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour leur utilisation dans les aliments transformés. De même, les extraits d'écorce de pomme de terre ont démontré des propriétés antimicrobiennes grâce aux flavonoïdes, à l'allicine (Nostro et al., 2000).

L'épluchure de pomme de terre a aussi un comportement bactériostatique non mutagène et peut être utilisée sans danger dans la transformation des aliments (Amanpour, 2015).

### En tant qu'ingrédient nutritionnel et pharmaceutique

La peau de la pomme de terre est un cicatrisant naturel ayant la capacité de guérir rapidement en aidant à la production d'une peau à haute résistance à la traction sur le site de la plaie (Panda et al., 2011).

Les glycoalcaloïdes trouvés dans la peau de pomme de terre ont également été étudiés pour leur application comme précurseur d'hormones stéroïdes (Schieber et Saldaña, 2009). Ces exemples corroborent l'importance de la recherche sur la peau de pomme de terre en tant que source de bioactifs améliorant la santé, et que son utilisation permettra d'améliorer l'état nutritionnel et sanitaire des individus.

**Chapitre II**  
**Généralités sur le**  
**lait, laits fermentés**  
**et yaourt**

## 1. Lait

### 1.1. Définition du lait

Le lait a été défini en 1908 au cours du congrès international de la répression des fraudes alimentaires à Genève comme étant « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum » (**Luquet, 1990**).

Le lait est un liquide produit par les cellules sécrétrices des glandes mammaires des mammifères femelles. Il s'agit d'un fluide aqueux opaque, blanc, légèrement bleuté ou plus ou moins jaunâtre selon la teneur en  $\beta$  carotène de sa matière grasse, c'est le plus utilisé pour l'alimentation humaine (**Vilain, 2010**).

### 1.2. Différents types de lait

La diversité des laits tiens à l'origine de plusieurs facteurs, que ça soit :

- ✚ Selon l'animal dont il est issu, le lait peut être produit par de nombreuses espèces animales : brebis, chamelles, chèvres, rennes, vaches, zèbres,... (**Bourlioux, 2011**).
- ✚ Selon sa teneur en matière grasse : la teneur en lipide est présentée selon le type de lait désiré
- ✚ Selon le traitement thermique effectué.
- ✚ Il existe d'autres laits disponibles : poudre de lait, enrichi, aromatisé, concentré,...

### 1.3. Composition du lait

La composition générale du lait de vache. Cette composition varie selon différents facteurs liés aux animaux, les principaux étant l'individualité, la race, la période de lactation, l'alimentation, la saison et l'âge. Pour connaître la composition exacte d'un échantillon du lait, il est indispensable de faire une analyse quantitative de chacun des constituants majeurs.

La composition moyenne du lait de différentes espèces est représentée dans le **tableau IV** (**Vilain, 2010**)

**Tableau IV** : Composition moyenne du lait selon les espèces en g/L.

| Type du lait    | Eau | Lipides | Protéines |         |          | Glucides (lactose) | Matière minérale |
|-----------------|-----|---------|-----------|---------|----------|--------------------|------------------|
|                 |     |         | Totale    | Caséine | Albumine |                    |                  |
| Lait maternelle | 905 | 35      | 12-14     | 10-12   | 4-6      | 65-70              | 3                |
| Vache           | 900 | 35-40   | 30-35     | 27-30   | 3-4      | 45-50              | 8-10             |
| Chèvre          | 900 | 40-45   | 35-40     | 30-35   | 6-8      | 40-45              | 8-10             |
| Brebis          | 800 | 70-75   | 55-60     | 45-50   | 8-10     | 45-50              | 10-12            |
| Jument          | 925 | 10-15   | 20-22     | 10-12   | 7-10     | 60-65              | 3-5              |
| Bufflonne       | 850 | 70-75   | 45-50     | 35-40   | 8-10     | 45-50              | 8-10             |
| Anesse          | 925 | 10-15   | 20-22     | 10-12   | 9-10     | 60-65              | 4-5              |

## 2. Lait fermenté

### 2.1. Définition

L'appellation « **lait fermenté** » réservé au produit laitier obtenue par fermentation du lait ; lequel peut avoir été fabriqué à base du lait (écrémé ou non, concentré ou en poudre écrémé ou non, enrichie ou non de constituants du lait) par l'action de microorganisme appropriés et résultants dans la réduction du pH avec ou sans coagulation (**Codex Stan, 2003**).

### 2.2. Différents types de laits fermentés

Dans le monde, il existe un grand nombre de laits fermentés qui diffèrent selon leur matières premières ; leurs flores lactiques, leurs technologies de fabrication; leurs textures, leurs goûts et leurs durées de conservations. Le tableau I donne une description de quelques types de produits et leurs pays d'origine (**Leksir, 2012**).

Les types du lait fermentés et leurs pays d'origine sont donnés en **Annexe 1**.

## 3. Yaourt

### 3.1. Définition

Selon le Codex alimentaire définit le yaourt comme un produit laitier coagulé obtenue par fermentation lactique grâce au développement des seules bactéries lactiques, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, à partir du lait frais ainsi que le lait pasteurisé (concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de lait en poudre, poudre de lait écrémé (Lubin, 1995).

### 3.2. Composition du yaourt

Les yaourts bénéficient d'une image forte et possèdent des qualités nutritionnelles reconnues, riche en calcium, en vitamines D et B et en acides aminés indispensables, ils renferment des ferment lactiques de plus en plus nombreux et variés, dont l'effet positif sur la microflore intestinale est maintenant largement reconnue.

**Tableau V:** Composition nutritionnelle de yaourt nature (Jeantet et al., 2008).

| Composants     | Teneur moyenne pour 100 g de produit |
|----------------|--------------------------------------|
| Protéines (g)  | 4,15                                 |
| Lipides (g)    | 1,2                                  |
| Glucides (g)   | 5,2                                  |
| Calcium (mg)   | 174                                  |
| Sodium (mg)    | 57                                   |
| Potassium (mg) | 210                                  |
| Phosphore (mg) | 114                                  |

### 3.3. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt

Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait (Mahaut et al., 2000).

- ✚ Amélioration de l'absorption du lactose
- ✚ Amélioration de la digestibilité des protéines

- ✚ Amélioration de la digestibilité de la matière grasse
- ✚ Activité antimicrobienne
- ✚ Stimulation du système immunitaire
- ✚ Action préventive contre les cancers de la sphère digestive
- ✚ Action anticholestérolémiant

### 3.4. Bactéries spécifiques du yaourt

Deux bactéries sont nécessaires pour pouvoir appeler un lait fermenté un yaourt, ce sont *Lactobacillus delbureckii subsp bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Ces bactéries sont des bactéries à Gram positif, catalase-négatives et hétérotrophes. *Lb.bulgaricus* est une bactérie de forme de bâtonnet, rectangulaire et allongé, tandis que *St. thermophilus* est en forme de coque (Vignola, 2002).

Le rôle principal de ces deux bactéries spécifiques est d'abaisser le pH du lait au point isoélectrique de la caséine (pH 4,6) de façon à former un gel (ou coagulum) (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 1995).

#### 3.4.1. *Lactobacillus bulgaricus*

*Lactobacillus bulgaricus* est une bactérie lactique immobile, de forme bâtonnets ou de chainettes (Figure 04), elle est homofermentaire capable de produire 1,4 à 1.6% d'acide lactique (Classeau, 2010), qui se développant bien à 45-50 °C en acidifiant fortement le milieu. Elle peut former dans le lait jusqu'à 2,7 % d'acide lactique (Veisseyre, 1975).



**Figure 04:** Aspect des cellules de *Lb. bulgaricus* sous le microscope électronique (Anonyme 1, 2018)

Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt (Marty-Teyssset et al., 2000). Elle fermente le glucose, le galactose, le lactose et le fructose, et est responsable de la production d'acétaldéhyde (composé aromatique du yaourt par transformation de la thréonine) (Classeau, 2010).

### 3.4.2 *Streptococcus thermophilus*

*Streptococcus thermophilus* est un cocci (**Figure 05**) non mobile, se multiplie bien à 37-40 °C mais se développe encore à 50 °C. C'est une espèce homofermentaire thermorésistante qui survit à un chauffage à 65°C maintenu pendant 30 minutes.

Le rôle principal de *St. thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture. Elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composé de galactose, glucose, ainsi que des petites quantités de rhamnose, arabinose, et de mannose) (**Bergamaier, 2002**).



**Figure 05:** Aspect des cellules de *St. Thermophilus* sous le microscope électronique (**Anonyme 2, 2018**).

### 3.4.3. Symbiose des deux bactéries

Ces deux espèces sont micro aérophiles. Elles vivent en symbiose dans le yaourt en culture associée (culture mixte), dans laquelle l'interaction est souvent positive. Cette interaction est appelée « protocoopération », car elle est indispensable à la survie des deux ferments. Pour se développer, les bactéries ont besoin d'acides aminés et de peptides directement utilisables. Or, le lait n'en contient que de faibles quantités permettant seulement de démarrer leur croissance (**Lubin, 1995**).

Cette symbiose concerne principalement la croissance, l'acidification et la production de composés aromatiques dont l'acétaldéhyde qui a un rôle prépondérant dans l'arôme du yaourt et qui est principalement produit par *Lb. Bulgaricus* (**Mahaut et al., 2000**).

En effet, la production d'acide formique, d'acide pyruvique et du CO<sub>2</sub> par *st. thermophilus* favorise la croissance de *Lb. bulgaricus*, en augmentant ainsi son activité protéolytique. Par contre, *Lb. bulgaricus* produit des peptides et des acides aminés qui stimulent la croissance de *St. thermophilus* (**Béal et al., 2003**).

## 3.5. Technologie de fabrication du yaourt

Les diagrammes de fabrication, se différencient selon les types de yaourt, qui leurs tours présentent des variantes selon leurs saveurs, arômes ajoutés, compositions ou technologie de fabrication. Les principales étapes de production du yaourt brassé, sont présentées ci-dessous :

### A. Réception du lait

Un produit ne peut être si la matière première est de bonne qualité. Pour ce fait elle doit être soumise en préliminaire, dès sa réception, à un contrôle, de deux paramètres microbiologiques et chimiques, afin de confirmer son acceptabilité.

### B. Standardisation

► La matière première peut être :

- soit du lait frais,
- soit du lait recombinaison,
- soit du lait reconstitué,

► Dans tous les cas, elle doit être :

- de bonne qualité microbiologique,
- exempte d'antibiotique,
- ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisé,

Afin d'assurer la qualité nutritionnelle et organoleptique du produit ; le lait doit être standardisé en protéines, matière grasse, lactose, minéraux et en vitamines.

La standardisation présente un rôle important sur la qualité finale du yaourt :

- Le gras assure une sensation de douceur et une bonne onctuosité.
- Le lactose est le facteur principal de l'acidification.
- Les protéines rentrent dans la texture, la viscosité, la consistance,... et cela grâce à sa propriété de se lier avec l'eau, et leur pouvoir de congélation.
- Les minéraux agissent sur la stabilité du coagulum (**Vignola, 2002**).

### C. Homogénéisation

Ce traitement est pratiqué dans le cas des laits gras, elle influence sur la matière grasse et les protéines du lait. L'homogénéisation doit se faire à une température et pression ( $25 \cdot 10^6$  Pa à 58-60°C) très contrôlées (**Mahaut et al., 2000**).

## Généralités sur le lait, laits fermentés et yaourt

---

Cette étape permet la réduction de la taille des globules gras en petites particules ; afin de faciliter leur pénétration dans la phase aqueuse. L'homogénéisation a un effet sur les protéines en améliorant sa stabilité, le caractère hydrophile ce qui évite la séparation du lait en sérum et en phase solide appelé « synérèse » (Vignola, 2002).

### D. Traitement thermique

Le lait enrichi subit un traitement thermique à **90-95°C** pendant 3 à 5 minutes (Mahaut et al., 2000). Ce traitement thermique a pour but la destruction des germes pathogènes et d'une grande partie de la flore banale originelle, il permet aussi la destruction éventuelle de certaines substances inhibitrices naturelles en favorisant aussi la croissance de la flore lactique spécifique (Streptocoque thermophile en particulier).

Le traitement thermique favorise aussi la précipitation d'une fraction de «s albumines ce qui entraînera une meilleure rétention d'eau et une amélioration de la consistance (François M. LUQUET, 1990)

### E. Refroidissement 42°C-45°C

Lait pasteurisé est ramené à une température avoisinante les 43°C pour l'inoculation des ferments lactiques thermophiles (Vignola, 2002).

### F. Ensemencement

L'ensemencement d'une culture de *Lactobacille delbrueckii ssp. Bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* doit se faire à un taux assez élevé pour assurer une acidification correcte, il varie selon la vitalité des cultures entre 1 et 7% et selon le rapport streptocoque / lactobacille de 1,2 à 2/1 pour les yaourts nature et 10/1 pour yaourts aux fruits (Mahaut et al., 2000).

L'ensemencement du lait doit se faire à un taux suffisamment élevé, il est d'ailleurs préférable d'ensemencer avec une quantité trop grande afin d'assurer une acidification correcte (Luquet, 1990).

### G. Fermentation

La fermentation est l'étape la plus importante du processus de fabrication du yaourt, de la fin de son pouvoir de transformation d'un lait liquide en un produit acidifié et épaissi (Bourlioux, et al., 2011).

## Généralités sur le lait, laits fermentés et yaourt

---

Le taux d'ensemencement des bactéries du yaourt doit être assez élevé, il est d'ailleurs préférable d'ensemencer avec une quantité trop grande plutôt que trop faible car on aura l'assurance d'une acidification correcte (**François M. LUQUET, 1990**).

### **H. Refroidissement**

Lorsque l'acidité est atteinte (70 -80°D dans le cas des yaourts étuvés, 100 – 120 °D dans le cas des yaourts brassés), on procède à un refroidissement rapide pour bloquer la fermentation en inhibant le développement des bactéries lactiques (**Luquet, 1990**).

### **I. Brassage**

Dans le cas des yaourts brassés, un brassage est réalisé au préalable par différentes techniques (lamellation du caillé par passage au travers d'un filtre ou d'un tamis ; agitation mécanique) permettant d'améliorer l'onctuosité du produit et de réduire la synérèse (**Schuck et al., 2000**).

### **J. Conditionnement**

Deux types d'emballage sont utilisés : les pots en verre et les pots en plastiques, l'ajout du sucre et des arômes se fait suite à l'ensemencement pour les yaourts fermes alors que l'addition de fruits juste après le refroidissement pour les yaourts brassés (**Romain et al., 2008**).

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthodes**

## 1. Matériel végétal

### 1.1. Récolte d'échantillons

Notre étude a été réalisée sur les épluchures de la pomme de terre et les raquettes du figuier de barbarie, qui ont été procurés de la commune de Barbacha de la wilaya de Bejaia en mois du mai 2021.

### 1.2. Test d'humidité

Une fois la récolte des échantillons est réalisée, la teneur en eau est déterminée en mettant à l'étuve à 105 °C trois boites de Pétri renfermant 10 g de chaque échantillon, jusqu'à stabilisation du poids.

Le taux d'humidité de l'échantillon est calculé selon la formule suivante :

$$H(\%) = [(P_{\text{avant}} - P_{\text{après}}) / P_{\text{avant}}] \times 100$$

Où : H(%) : Taux d'humidité en pourcentage.  
P<sub>avant</sub> : Poids de l'échantillon avant séchage.  
P<sub>après</sub> : Poids de l'échantillon après séchage.

► La matière sèche (MS) est obtenue comme suite :

$$MS(\%) = 100 - H(\%)$$

### 1.3. Préparation des échantillons

Les échantillons récoltés sont nettoyés avec l'eau pour éliminer les traces de poussière et coupés en petits morceaux qui ont été mis dans une étuve pour le séchage à 40 °C pendant 2 jours. Une fois séché, la matière végétale est broyée à l'aide d'un broyeur électrique, puis la poudre a subi un tamisage afin d'obtenir une granulométrie inférieure à 500 µm. Dans des boites en verre, les poudres obtenues sont conservées à l'abri de la lumière et seront utilisées par la suite pour les différents dosages et la préparation des extraits bruts.

## 2. Extraction

Afin de déterminer la teneur en composés phénoliques et d'étudier l'activité antioxydante de la poudre d'épluchure de la pomme de terre et celle du la raquette de la figue de barbarie, une optimisation de l'extraction a été réalisée.

## 2.1. Optimisation des paramètres d'extraction

### 2.1.1. Etude préliminaire

Avant l'optimisation, un ensemble d'expérience sont exécutées pour déterminer les conditions d'extraction des composés phénolique appropriées tels que la température, le temps, le ratio, le type de solvant...etc.

Dans le cas de notre étude préliminaire, le solvant utilisé est l'éthanol (100%) et toutes les manipulations ont été réalisées à température ambiante, les paramètres d'extraction à optimiser sont les suivants (**Tableau VI**) :

**Tableau VI** : Conditions d'extraction utilisées dans l'étude préliminaire de l'extraction des composés phénoliques assistés par macération.

| Effet du solvant (meilleure concentration) |  |    |    |     |     |     |
|--|--|----|----|-----|-----|-----|
| Concentration en éthanol (%)               | 20   | 40 | 60 | 80  | 100 |     |
| Temps (min)                                | 60 min   |    |    |     |     |     |
| Ratio (g/mL)                               | 1/20 g/mL  |    |    |     |     |     |
| Effet du temps                             |  |    |    |     |     |     |
| Temps (min)                                | 30   | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Solvant                                    | La concentration en solvant adéquate pour l'extraction |    |    |     |     |     |
| Ratio (g/mL)                               | 1g/mL  |    |    |     |     |     |
| Effet de ratio                             |  |    |    |     |     |     |
| Ratio (1g/mL)                              | 10   | 20 | 30 | 40  | 50  | 60  |
| Solvant                                    | La concentration adéquate pour l'extraction            |    |    |     |     |     |
| Temps                                      | Le temps adéquat pour l'extraction                     |    |    |     |     |     |

### 2.1.1. Optimisation

L'optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques des épiluchures de la pomme de terre et de la raquette du figuier de Barbarie en adoptant la méthode de surface de réponse (MSR). Le plan est le Central Composite Design (CCD). Trois variables ( $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ ) à trois niveaux (-1, 0 et +1) sont utilisées pour optimiser l'extraction des polyphénols (**Tableau VII**).

**Tableau VII** : Niveaux des facteurs choisis pour les essais de l'extraction.

|                                  | Epluchures pomme de terre |        |         | Raquettes du figuier de Barbarie |       |         |
|----------------------------------|---------------------------|--------|---------|----------------------------------|-------|---------|
| Concentration en éthanol (% v/v) | (-1)20                    | (0)50  | (+1)80  | (-1)40                           | (0)60 | (+1)80  |
| Temps (minutes)                  | (-1)90                    | (0)120 | (+1)150 | (-1)60                           | (0)90 | (+1)120 |
| Ratio (g/mL)                     | (-1)10                    | (0)20  | (+1)30  | (-1)20                           | (30)  | (+1)40  |

### 3. Dosage des composés phénoliques

#### 3.1. Dosage des polyphénols totaux

##### Principe

La méthode de Folin-Ciocalteu est utilisée pour le dosage des composés phénoliques totaux. L'ensemble de ces composés est oxydé par le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier, de couleur jaune, est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdine ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) (Vermerris et Nicholson, 2006).

La présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin, le Folin-Ciocalteu réagit avec les composés phénolique, cette réaction est basée sur l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $MO_8O_{23}$ ). (Vermerris et Nicholson, 2006).

La coloration bleu produite est proportionnelle à la teneur en phénol totaux contenus dans les extraits végétaux, et possède une absorption maximum aux environ de 725-750 nm (Boizot and Charpentier, 2006).

##### Mode opératoire

L'estimation de la teneur en polyphénols totaux des extraits est déterminée selon la méthode décrite par Brahmi et al. (2015). Un volume de 100  $\mu$ L d'extrait est mélangé avec 6 mL d'eau distillée et de 500  $\mu$ L du réactif de Folin-Ciocalteu. Ensuite, 1,5 mL de carbonate de sodium (20%) et 1,9 mL d'eau distillée sont additionnés. Après deux heures d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 760 nm contre un blanc.

La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par g de matière sèche d'échantillon (mg EAG/g MS) par référence à une courbe d'étalonnage (Annexe III).

#### 3.2. Dosage des flavonoïdes

## ✚ Principe

La teneur en flavonoïdes contenue dans les extraits est évaluée selon la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium basée sur la formation d'un complexe jaunâtre, acide et stable, entre le chlorure d'aluminium et le groupement cétonique C<sub>4</sub> et le groupement hydroxyle (C<sub>3</sub> ou C<sub>5</sub>) des flavone et flavonols (Chang et al., 2002).

La coloration jaune produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes contenue dans l'extrait.

## ✚ Mode opératoire

La détermination de taux de flavonoïdes a été réalisée selon la méthode décrite par Brahmi et al. (2015). La solution diluée des extraits (1mL) est additionnée d'un 1mL de la solution de chlorure d'aluminium à 2%. Après avoir bien mélangé, les tubes ont été incubés à l'obscurité pendant 15 min. Les absorbances sont mesurés au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 430 nm.

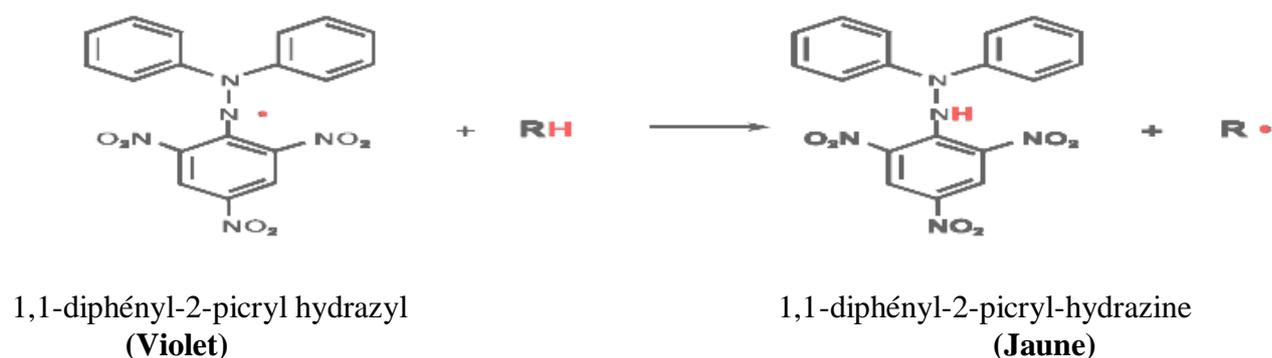
La teneur en flavonoïdes est exprimée en mg équivalent Quercétine par g de matière sèche d'échantillon (mg EQ/g MS) par référence à une courbe d'étalonnage (Annexe IV).

## 4. Evaluation de l'activité antioxydante

### 4.1. Test au DPPH°

#### ✚ Principe

Le DPPH° (2-2- Diphényl-1- picryl- hydrazyl) est un radical libre stable violet en solution, en présence de composés anti-radicalaires, le radical DPPH°est réduit en diphényl picryl- hydrazine (Figure 6) et change de couleur en virant au jaune (Talbi et al., 2015).



**Figure 06** : Mécanisme réactionnel de réduction du radical DPPH• (Molyneux, 2004).

Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH° qui est proportionnel au pouvoir anti-radicalaire de l'échantillon (**Chaabi, 2008**) en utilisant l'équation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition (I\%)} = \frac{Abs_{\text{contrôle}} - Abs_{\text{échantillon}}}{Abs_{\text{contrôle}}} \times 100$$

### Mode opératoire

Le protocole suivi est celui décrit par **Brahmi et al. (2015)**. Une série de dilutions a été préparée, puis chacune est additionnée par 1 mL d'éthanol, suivi par un volume de 0,15 mL de DPPH°. Un contrôle sans extrait a été préparé dans les mêmes conditions.

Après une heure d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 517 nm contre l'éthanol pris comme un blanc.

## 4.2. Pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium

### Principe

Ce procédé est une méthode spectroscopique pour la détermination quantitative de la capacité antioxydante, par la formation d'un complexe de phosphomolybdène. Le dosage est basé sur la réduction de Mo (VI) en Mo (V) par l'analyse de l'échantillon et la formation subséquente d'un complexe phosphate-Mo (V) vert à pH acide (**Anonyme 3, 2012**).

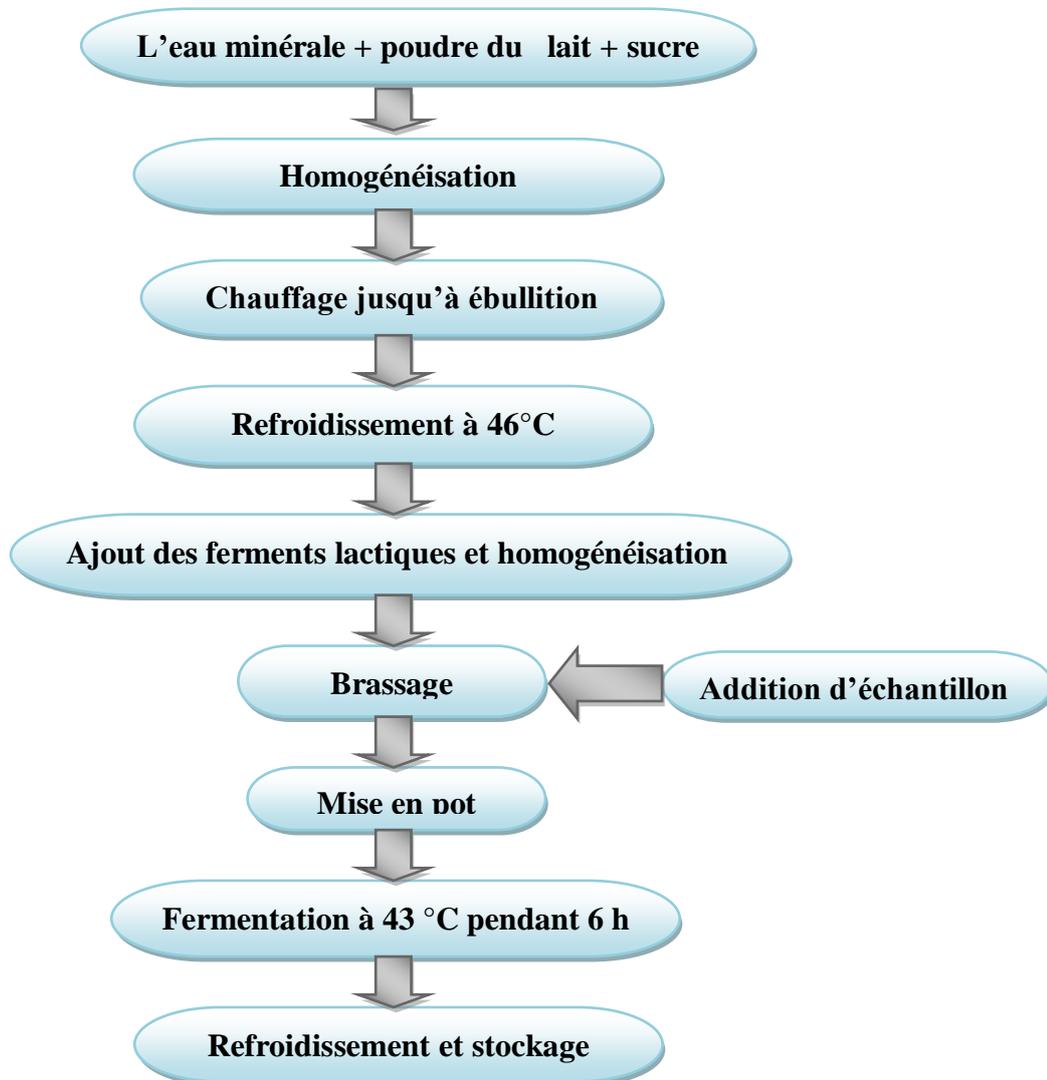
### Mode opératoire

Pour réaliser ce test, nous avons utilisé le protocole d'**Umamaheswari et Chatterjee (2008)**. Dans des tubes à essai, 200 µL des dilutions des extraits ont été mélangés avec 2 mL de réactif au phosphomolybdate. Les tubes ont été incubés à 90 °C pendant 90 minutes. Après refroidissement des tubes à la température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 695 nm contre un blanc.

## 5. Fabrication du yaourt

La préparation des yaourts a été réalisée au niveau du laboratoire de la laitière ORLAC, en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard avec l'ajout des épiluchures de la pomme de terre et les cladodes (poudre et en petits cubes). Les ingrédients utilisés pour la préparation de ce yaourt sont l'eau minérale, poudre du lait Loya, des

ferments lactiques et du sucre cristallisé. Les étapes de fabrication d'un yaourt non aromatisé et d'un yaourt à base des épiluchures de la pomme de terre et les cladodes sont résumées sur la figure.



**Figure 07:** Diagramme de fabrication d'un yaourt brassé à base d'épiluchures de pomme de terre et cladodes.

## 5.1. Analyses physico-chimiques

### 5.1.1. Détermination du pH

#### Principe

La détermination du pH est basée sur la détermination de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans un échantillon. Cette analyse est réalisée dans le but de déterminer l'aptitude des quelque aliments à la conservation (NF V05-108, 1970).

### Mode opératoire

La sonde du pH-mètre est immergée directement dans chaque échantillon (yaourt témoin, yaourt à base de poudre d'épluchures de la pomme de terre et poudre de cladodes) ensuite la valeur du pH a été directement affichée sur l'écran du pH mètre.

### 5.1.2. Détermination de la teneur en cendres

#### Principe

La détermination du taux de cendres consiste à faire calciner les échantillons dans un four à moufle à 900°C jusqu'à obtention d'une cendre blanche à grise (NF V05-113, 1972).

#### Mode opératoire

Pour la détermination du taux de cendres, 1 g de chaque type de yaourt a été pesé dans des creusets, qui sont placés ensuite dans un four à moufle à 900°C pendant 1 h:30 min. Le taux de minéraux est calculé selon la formule suivante:

$$Cd = (M1 - M2/P) \times 100$$

Tels que,

**Cd:** Teneur en cendres (%).

**M1 :** Masse du creuset + cendres (g).

**M2 :** Masse du creuset vide (g).

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

### 5.1.3. Mesure de l'acidité titrable

#### Principe

L'acidité du yaourt est exprimée par le degré Dornic (D°) ; elle correspond à la quantité d'acide lactique contenu dans ce yaourt. Pour la déterminer, un titrage acido-basique du yaourt analysé a été réalisé en utilisant une solution basique de NaOH.

#### Mode opératoire

10 mL d'eau distillée sont ajoutées à 5 g de chaque type de yaourt. Deux à trois gouttes de phénolphtaléine ont été également ajoutées, puis le mélange est titré avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) (1N) jusqu'au virage de la couleur vers un rose qui persiste quelques secondes (NF V 04-206, 1969).

La mesure de l'acidité titrable est déterminée selon la formule suivante :

$$Ac = C_b \times N \times F \times M/m$$

Avec :

**C<sub>b</sub>** : Chute de la burette

**N** : Normalité de NaOH (N) ;

**F** : Coefficient de correction

**M** : Masse molaire d'acide lactique (g/mol)

**m**: Masse d'échantillon

### 5.1.4. Brix

#### Principe

Le degré Brix, également appelé indice réfractométrique, est basé sur la réfraction de la lumière, le réfractomètre donne par simple lecture, l'extrait sec soluble d'un liquide sucré, à une température déterminée.

#### Mode opératoire

Une goutte de l'échantillon du yaourt a été placée sur la surface du prisme, le réfractomètre a été dirigé vers une source lumineuse et à travers l'oculaire, on arrive à voir se dessiner deux zones sur l'échelle, une claire et une autre foncée. La limite entre les deux zones marque la grandeur de la réfraction. On obtient les résultats par simple lecture sur l'échelle du réfractomètre.

## 6. Détermination de la teneur en antioxydants des yaourts élaborés

### 6.1. Extraction des composés phénolique totaux

Dix grammes de yaourt ont été additionnés de 2,5 mL d'eau distillée. Le pH du mélange a été d'abord ajusté à l'aide de la solution d'HCL (0,1 M) à pH=4 avant d'être incubé à 45°C pendant 10 min. Une centrifugation à 6000 tours/min pendant 20 min a été réalisée pour récupérer le surnageant dont le pH a été ajusté encore une fois par le NaOH (0,1N) à pH=7 avant de subir une 2<sup>ème</sup> centrifugation à 6000 tours/min pendant 20 min. Enfin le surnageant récupéré a été conservé à 4°C (**Muniandy et al., 2016**).

Les dosages ci-dessous sont réalisés selon les méthodes décrites pour les extraits des épiluchures de la pomme de terre et les cladodes :

- Dosage des composés phénoliques totaux: Voir le protocole cité dans le titre 3,1 Page (23)

### 6.2. Extraction et dosage des flavonoïdes

- Dosage des flavonoïdes : Voir le protocole cité dans le titre 3.2 Page (24)

### **6.3. Évaluation des activités antioxydante**

Les protocoles décrits dans les titres 4.1 et 4.2 Page 22 et 23 sont adoptées pour évaluer les activités antioxydant et des extraits de yaourts élaborés.

## **7. L'analyse sensorielle**

### **7.1. Évaluation sensorielle**

L'analyse sensorielle constitue une approche indispensable à l'évaluation de la qualité organoleptique d'un produit alimentaire. Concernant notre cas, l'analyse sensorielle est effectuée sur les cinq échantillons du yaourt fabriqué par l'épluchure de la pomme de terre et la raquette du figuier de barbarie, et cela est réalisé par un panel de 10 personnes, formées à l'évaluation sensorielle au sein de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia.

Le choix des descripteurs pour la mise en place du questionnaire s'est porté sur la couleur, l'odeur, l'arome, la saveur et la texture. Les experts sont invités à noter leurs préférences aux cinq échantillons sur une échelle de notation de 1 à 9.

La salle d'évaluation a été bien nettoyée et désinfectée pour éliminer toutes contraintes risquant sur la contaminations des échantillons à déguster ainsi d'influencer le bon déroulement de l'analyse sensorielle.

Les échantillons ont été identifiés par des lettres A, B, C, D et E et présenter dans des gobelets avec une bouteille d'eau pour le rinçage de la bouche après chaque dégustation.

## **8. Etude statistique**

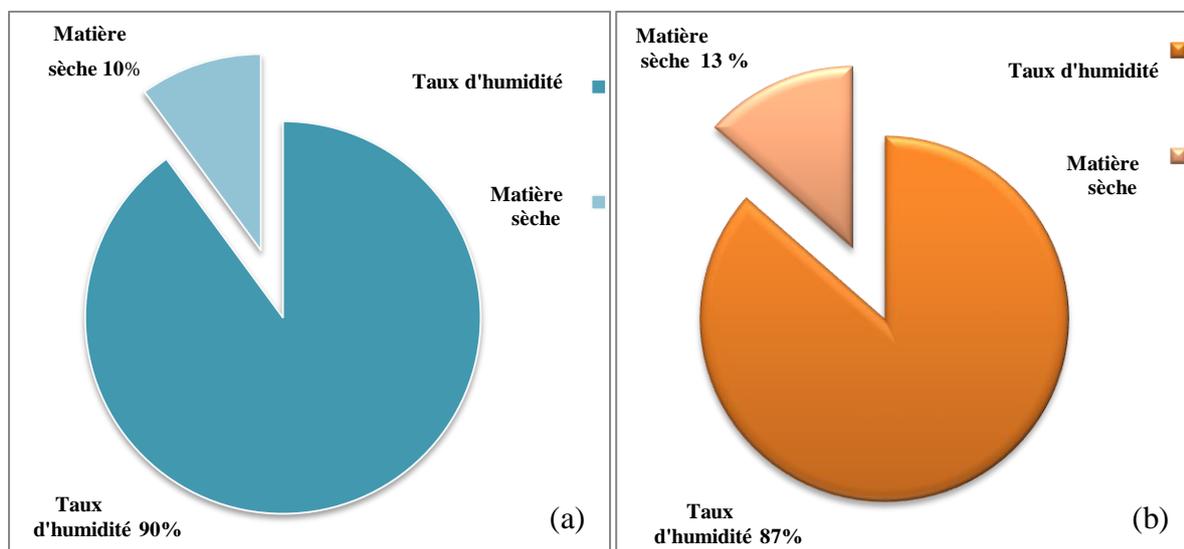
Tous les résultats sont exprimés en moyennes de trois valeurs  $\pm$  écart types. Les résultats des essais préliminaires sont analysés par STATISTICA version 10, basé sur l'analyse de la variance (ANOVA-MANOVA). Quant aux résultats expérimentaux du plan d'expérience de CCD, ils sont analysés par le logiciel JMP.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussion**

### 1. Humidité

L'humidité et la matière sèche sont deux paramètres complémentaires importants pour connaître la teneur en eau, et pouvoir estimer le rendement après séchage des sous-produits. Le taux élevé d'humidité est une source de dégradation des antioxydants. Cet inconvénient peut être éliminé par un séchage rapide aussi tôt après la récolte (**Ribéreau-Gayon, 1968**).



**Figure 08:** Taux d'humidité des cladodes (a) et d'épluchure de la pomme de terre (b).

D'après les résultats obtenus (**Figure 08**), les cladodes renferment un taux d'humidité de 90%, à partir de cette valeur nous avons pu déterminer le pourcentage de la matière sèche qui a été estimé à 10 %. La valeur obtenue est proche de celle trouvée par **Valente et al. (2010)** qui était de 95%. En générale, la teneur en eau des cladodes est comprise entre 80 et 95% (**Murillo-Amador et al., 2002**).

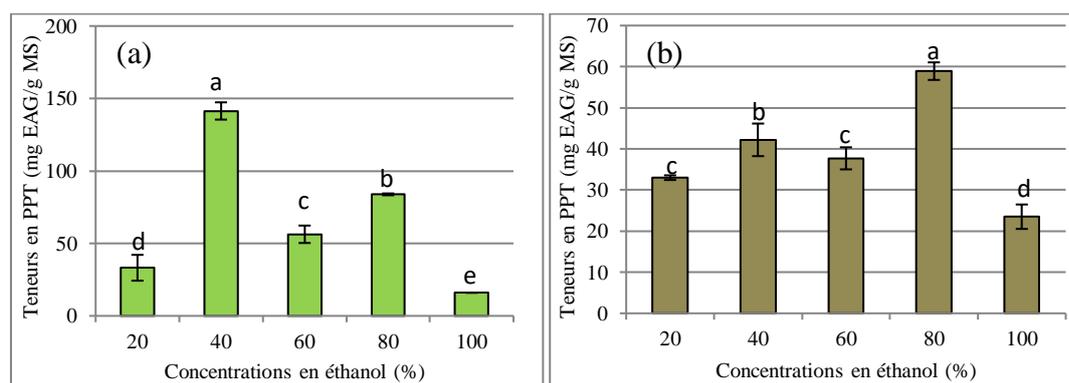
Les épluchures de la pomme de terre représentent un pourcentage de matière sèche qui est 13% et une teneur en eau de 87% qui est supérieure à celle trouvée par **Arapoglou et al. (2010)** (85%).

D'après les résultats précédents, nous constatons que les raquettes du figuier de barbarie montrent une richesse hydrique par rapport aux épluchures de la pomme de terre. Par conséquent, le figuier de barbarie est bien adapté aux climats chauds et secs, voire même désertiques.

## 2. Etude préliminaire

### 2. 1. Effet de la concentration en éthanol

La solubilité des polyphénols dépend de la polarité du solvant utilisé (Naczka et al., 2004). Dans notre travail, différentes concentrations d'éthanol (20 ; 40 ; 60, 80% et 100%) ont été testées sur l'efficacité de l'extraction. Les résultats de l'impact de la concentration en solvant sont représentés dans la figure N° 09 :



**Figure 09:** Influence de la concentration du solvant sur le taux des TPC des extraits de cladodes (a) et d'épluchures de la pomme de terre (b).

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

Les résultats des rendements obtenus par extraction solide-liquide donnés par la figure 9 (a) pour les cladodes montrent que la concentration d'éthanol augmente de 20 à 40%, où elle atteint son maximum, puis diminue progressivement lorsque la concentration d'éthanol augmente de 40 à 80%. L'extrait qui a enregistré la meilleure teneur est celui préparé avec l'éthanol 40%, tandis que l'extrait obtenu avec l'éthanol pur a révélé la plus faible valeur. L'addition de l'eau distillée à l'éthanol augmente de façon remarquable son pouvoir d'extraction.

Pour les épluchures de la pomme de terre (Figure 9 b) la teneur en composés phénoliques augmente graduellement avec l'augmentation de la concentration de l'éthanol de 20% jusqu'à atteindre son maximum à 80% puis par la suite elle diminue.

De Santiago et al. (2021) ont utilisé plusieurs solvants et conditions d'extraction individuels et combinés pour l'extraction des composés phénoliques par macération des

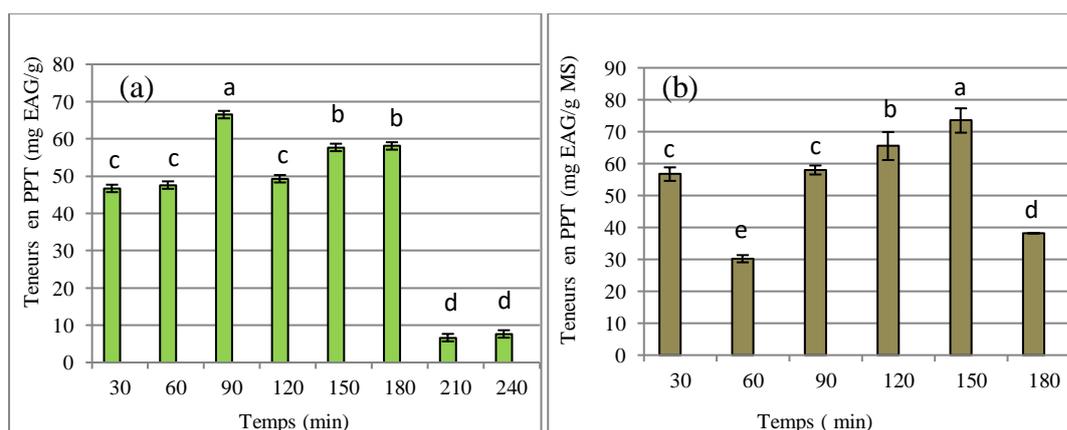
cladodes du figuier de barbarie. Ils ont trouvé une quantité importante en en utilisant l'éthanol 80%.

Selon **Mohammedi et al. (2011)**, l'utilisation de solvants mixtes aboutit à un fort enrichissement des extraits en composés phénoliques. Cette supériorité des solvants mixtes est due à l'augmentation de la solubilité des composés phénoliques dans les extraits obtenus par des solvants mixtes. Par contre, des études antérieures ont montré que l'utilisation de solvants organiques très purs peut entraîner la déshydratation et l'effondrement des cellules végétales, ainsi que la dénaturation des protéines de la paroi cellulaire, rendant ainsi l'extraction des composés phénoliques difficile (**Garcia et al., 2015**).

Il apparait dans notre travail que l'éthanol à 40% est la meilleure concentration en éthanol pour l'extraction des composés phénoliques à partir des cladodes. Tandis que, l'éthanol à 80% soit la meilleure concentration du solvant d'extraction choisie pour l'extraction des composés phénoliques des épiluchures de la pomme de terre et ainsi ces concentrations seront utilisées pour la suite des extractions.

### II.2. Temps d'extraction

Le temps de contact entre le solide et le solvant est un paramètre important pour l'extraction des polyphénols (**Galvan D'Alessandro, 2013**). L'effet de différents temps d'extraction (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 et 240 min) sur l'extraction des polyphénols des cladodes et des épiluchures de la pomme de terre est illustré sur la figure 10.



**Figure 10:** Influence du temps d'extraction sur les teneurs en polyphénols totaux des extraits des cladodes (a) et des épiluchures de la pomme de terre (b).

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

La figure 10 (a) montre que la teneur la plus élevée en polyphénols totaux des extraits de cladodes a été enregistrée pour le temps de 90 min tandis que le contenu en polyphénols totaux est en variation irrégulière avec un temps variant de 30 à 60 min, mais qui augmente d'une manière non significative après 90 min d'extraction et au-delà, nous constatons une légère diminution.

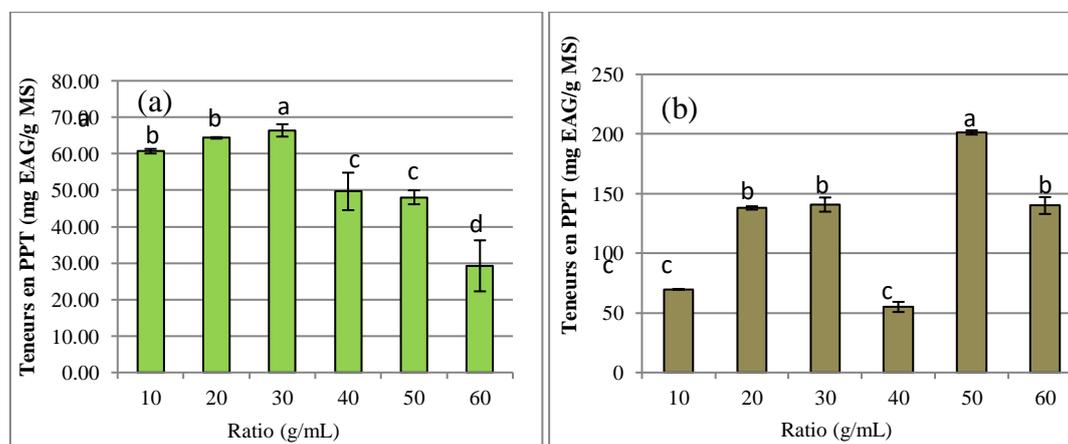
Selon la figure 10 (b) la teneur maximale en polyphénols totaux des épiluchures de la pomme de terre a été obtenue à 150 min, tandis que les extraits obtenus après 30, 60, 90, 120, 150 et 180 min ont donné des valeurs inférieures sans différences significatives à  $P \leq 0,05$ .

Les résultats concernant la durée d'extraction optimale des polyphénols sont assez différentes, certains auteurs préconisent de courtes durées d'extraction de 5 à 30 min, alors que d'autres montrent la nécessité de plus longs temps de contact de 1 à 24 heures.

Néanmoins, un temps trop long augmente les possibilités d'une oxydation des polyphénols. Ceci aurait par conséquent une diminution du rendement d'extraction et une dégradation de l'activité antioxydante des extraits (Pradal, 2016).

### II. 3. Ratio

L'impact de ratio sur l'extraction des composés phénoliques des extraits de raquettes et d'épiluchures de la pomme de terre est donné dans la figure 11.



**Figure 11:** Influence du ratio sur le taux des polyphénols totaux des extraits des cladodes (a) et des épiluchures de la pomme de terre (b).

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

D'après la **figure 11** (a), les cladodes ont montré un contenu en polyphénols totaux élevé avec un ratio de 1g/30mL alors que la concentration la plus faible est enregistrée en

utilisant un ratio de 1g/ 60mL. Pour les épluchures de la pomme de terre le ratio qui a révélé la meilleure concentration est attribuée à 1g/50 mL et la plus faible concentration est révélée en utilisant un ratio de 1g/40 mL (**Figure 11b**).

La variation du ratio (matière sèche/solvant) a un effet sur le taux d'extraction des polyphénols totaux. Les teneurs augmentent avec l'augmentation de volume de solvant ce qui concorde avec les données de la littérature où **Hossain et al. (2012)** ont trouvé 50 mL de solvant d'extraction ont permis d'extraire le maximum de TPC. En outre, **Barros et al. (2015)** ont trouvé un ratio de 30 mL comme proportion du solvant adéquate pour l'extraction des teneurs les plus élevée.

#### II.4. Optimisation par la méthodologie de surface de réponse

Beaucoup de paramètres peuvent influencer l'efficacité de l'extraction des polyphénols, comme la méthode d'extraction, la nature et la concentration du solvant, la température d'extraction, le pH, et le temps d'extraction (**Banik et Pandey, 2007**).

Trois facteurs, qui sont la concentration en éthanol ( $X_1$ ), le temps d'extraction ( $X_2$ ) et le ratio ( $X_3$ ), ont été utilisés afin d'optimiser l'extraction des polyphénols totaux à partir des cladodes du figuier de barbarie et des épluchures de la pomme de terre.

L'analyse de l'effet combiné de ces facteurs peut être réalisée à travers la méthodologie de surface de réponse (MSR), un outil mathématique et statistique qui est largement utilisé pour optimiser les conditions expérimentales d'un processus. Le plan choisi pour cette optimisation est le plan central composite (**Chen et al., 2015**).

Les résultats des expériences de ce plan sont représentés dans le tableau suivant :

## Résultats et discussion

**Tableau VIII:** Plan et résultats d'optimisation des conditions d'extraction par plan central composite précis pour les extraits des échantillons étudiés.

| Raquette figuier de barbarie |                    |                |                |                 |                  | Epluchure pomme de terre |                    |                |                |                 |                  |
|------------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| Configuration                | [C] en éthanol (%) | Temps (min)    | Ratio (mL/g)   | Valeurs réelles | Valeurs prédites | Configuration            | [C] en éthanol (%) | Temps (min)    | Ratio (mL/g)   | Valeurs Réelles | Valeurs prédites |
|                              | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> |                 |                  |                          | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> |                 |                  |
| ++-                          | 80                 | 120            | 20             | 45,6            | 30,20            | 0a0                      | 50                 | 90             | 20             | 36,5            | 26,82            |
| ---+                         | 40                 | 60             | 40             | 142,4           | 157,68           | 00A                      | 50                 | 120            | 30             | 102,29          | 98,06            |
| 00a                          | 60                 | 90             | 20             | 138,42          | 144,48           | ++-                      | 80                 | 150            | 10             | 133,04          | 134,82           |
| 00A                          | 60                 | 90             | 40             | 145,66          | 140,09           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 50,6            | 41,38            |
| ---                          | 40                 | 60             | 20             | 231,6           | 243,07           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 39,64           | 41,38            |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 127,95          | 147,13           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 45,94           | 41,38            |
| 0a0                          | 60                 | 60             | 30             | 172,66          | 156,96           | ---+                     | 20                 | 90             | 30             | 41,15           | 39,70            |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 181,31          | 147,13           | ---                      | 20                 | 90             | 10             | 49,46           | 59,66            |
| A00                          | 80                 | 90             | 30             | 115,41          | 153,45           | +---                     | 80                 | 90             | 10             | 46,63           | 39,49            |
| 0A0                          | 60                 | 120            | 30             | 80,4            | 96,59            | +++                      | 80                 | 150            | 30             | 217,56          | 207,69           |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 141,09          | 147,14           | A00                      | 80                 | 120            | 20             | 40,57           | 47,73            |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 141,69          | 147,13           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 32,27           | 41,38            |
| a00                          | 40                 | 90             | 30             | 262,5           | 224,95           | +++                      | 80                 | 90             | 30             | 71,64           | 79,71            |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 156,03          | 147,13           | -++                      | 20                 | 150            | 30             | 92,15           | 99,62            |
| 000                          | 60                 | 90             | 30             | 135,72          | 147,13           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 42,36           | 41,38            |
| +-                           | 40                 | 120            | 20             | 160,2           | 164,59           | 0A0                      | 50                 | 150            | 20             | 96,09           | 104,44           |
| +++                          | 80                 | 120            | 40             | 118,4           | 106,81           | 000                      | 50                 | 120            | 20             | 44,85           | 41,38            |
| +++                          | 80                 | 60             | 40             | 153,6           | 149,08           | a00                      | 20                 | 120            | 20             | 12,27           | 3,78             |
| -++                          | 40                 | 120            | 40             | 227,2           | 233,60           | 00a                      | 50                 | 120            | 10             | 68,7            | 71,60            |
| +--                          | 80                 | 60             | 20             | 233,4           | 226,87           | -+-                      | 20                 | 150            | 10             | 94,65           | 86,91            |

La teneur en composés phénoliques des cladodes du figuier de barbarie et des épluchures de la pomme de terre varie de 45,6 à 262,5 mg EAG/g de MS et de 12,27 à 217,56

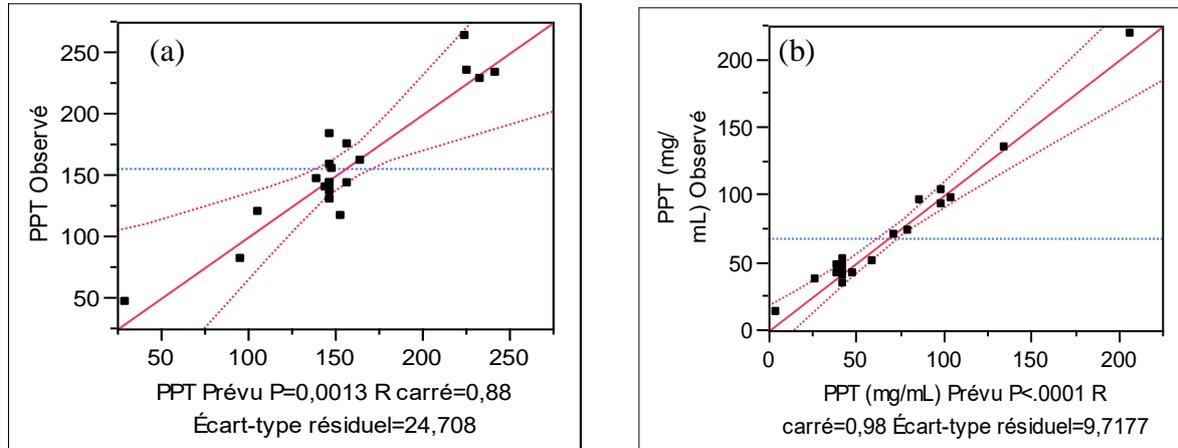
et mg EAG/g de MS, respectivement, ce qui confirme l'influence des paramètres ( $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ ) sur le taux d'extraction des polyphénols totaux. Cela est démontré par plusieurs auteurs (**Kashif et Young, 2009 ; Juntachote et al., 2006**). Toutefois, d'autres paramètres peuvent affecter l'extraction des TPC tel que le pH (**Chirinos et al., 2007**).

### ► Validation du modèle

Le modèle mathématique, dans les plans d'expériences, unit la réponse qui est dans cette étude aux facteurs qui ont un effet sur elle. Dans l'objectif d'avoir une bonne réponse plusieurs conditions doivent être vérifiées.

#### ▪ Coefficient de corrélation ( $R^2$ )

Le coefficient de corrélation  $R^2$  exprime l'efficacité d'ajustement globale. Dans la présente étude, le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) concernant les cladodes (**Figure 12a**) est égale à 0,88 ce qui signifie que 12% des variations ne sont pas expliquées par le modèle utilisé, pour les épluchures de la pomme le coefficient est égal à 0,98 (**Figure 12b**) ce qui signifie que 2% des variations ne sont pas expliquées par le modèle, cela pourrait s'expliquer par des erreurs de manipulation ou par la pureté des produits utilisés (éthanol).



**Figure 12 :** Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues (a) pour les cladodes du figuier de barbarie (b) pour les épluchures de la pomme de terre.

L'analyse de la variance de la régression montre que les modèles sont très hautement significatif,  $P < 0,001$ , ce qui confirme que les modèles sont satisfaisants.

### ▪ Effet des facteurs (coefficients)

L'analyse de la variance de la régression des coefficients consiste à analyser l'effet des variables ( $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ ) sur l'extraction des composés phénoliques. Les valeurs P sont utilisées comme un moyen pour vérifier la signification de chaque coefficient, ce qui indique aussi l'intensité d'interaction de chaque paramètre. Les valeurs les plus petites de P montrent la plus grande signification du facteur correspondant (Liu et al., 2010).

**Tableau IX :** Analyse de la variance des résultats expérimentaux des cladodes.

| Source  | Nombre de coefficients | Degré(s) de liberté | Somme des carrés | Rapport F                     | Prob. >F |
|---|------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|----------|
| <b>[C] en éthanol <math>X_1</math> (20,80)</b>            | 1                      | 1                   | 4829,446         | 51,1412                       | <,0001   |
| <b>Temps (min) <math>X_2</math> (90,150)</b>              | 1                      | 1                   | 15062,937        | 159,5082                      | <,0001   |
| <b>Ratio (g/mL) <math>X_3</math> (10,30)</b>              | 1                      | 1                   | 1750,594         | 18,5378                       | 0,0015   |
| <b>[C] en éthanol*Temps (min) <math>X_1 X_2</math></b>    | 1                      | 1                   | 2316,762         | 24,5332                       | 0,0006   |
| <b>[C] en éthanol*Ratio (g/mL) <math>X_1 X_3</math></b>   | 1                      | 1                   | 1810,214         | 19,1692                       | 0,0014   |
| <b>Temps (min)*Ratio (g/mL) <math>X_2 X_3</math></b>      | 1                      | 1                   | 533,338          | 5,6478                        | 0,0388   |
| <b>[C] en éthanol*[C] en éthanol <math>X_1 X_1</math></b> | 1                      | 1                   | 711,299          | 7,5323                        | 0,0207   |
| <b>Temps (min)* Temps (min) <math>X_2 X_2</math></b>      | 1                      | 1                   | 1556,699         | 16,4846                       | 0,0023   |
| <b>Ratio (g/mL)*Ratio (g/mL) <math>X_3 X_3</math></b>     | 1                      | 1                   | 5082,923         | 53,8253                       | <,0001   |
| <b>Résidus</b>  |                        | 10                  | 944,336          | <b>Prob. &gt; F</b>           |          |
| <b>Erreur pure</b>  |                        | 5                   | 195,74560        | <b>Prob. &gt; F</b><br>0,0836 |          |
| <b>Erreur totale</b>                                      |                        | 10                  | 944,33639        | <b>R carré max</b><br>0,9951  |          |
| <b>Total</b>  |                        | 19                  | 40305,775        | <,0001                        |          |

## Résultats et discussion

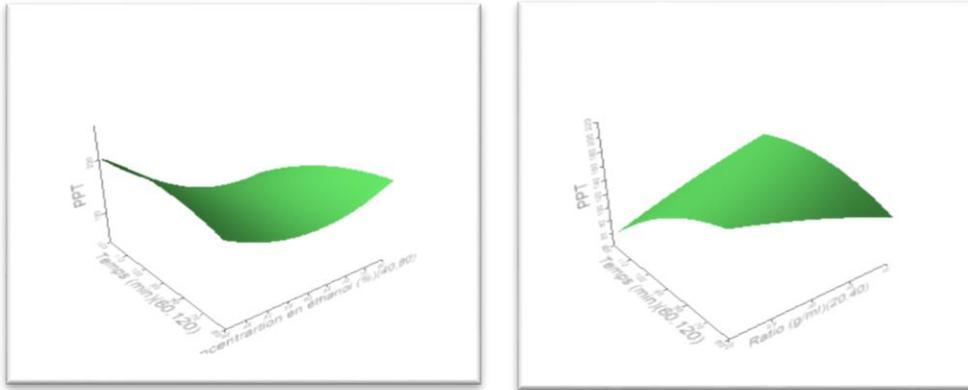
**Tableau X** : Analyse de la variance des résultats expérimentaux des épiluchures de la pomme obtenue par extraction

| Source   | Nombre de coefficients | Degré(s) de liberté | Somme des carrés | Rapport F                     | Prob. > F |
|--|------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|-----------|
| [C]en éthanol(%)<br>$X_1$<br>( 40,80)              | 1                      | 1                   | 12779,910        | 20,9333                       | 0,0010    |
| Temps (min) $X_2$<br>(60,120)                      | 1                      | 1                   | 9111,946         | 14,9253                       | 0,0031    |
| Ratio (g/ml) $X_3$<br>(20,40)                      | 1                      | 1                   | 48,224           | 0,0790                        | 0,7844    |
| [C] en éthanol (%) * Temps (min)<br>$X_1 X_2$      | 1                      | 1                   | 6985,620         | 11,4424                       | 0,0070    |
| [C]en éthanol (%) * Ratio (g/ml)<br>$X_1 X_3$      | 1                      | 1                   | 28,880           | 0,0473                        | 0,8322    |
| Temps (min) * Ratio (g/ml) $X_2 X_3$               | 1                      | 1                   | 11919,680        | 19,5243                       | 0,0013    |
| [C]en éthanol (%) * [C]en éthanol (%)<br>$X_1 X_1$ | 1                      | 1                   | 4865,921         | 7,9703                        | 0,0181    |
| Temps (min) * Temps (min) $X_2 X_2$                | 1                      | 1                   | 1140,007         | 1,8673                        | 0,2017    |
| Ratio (g/ml) * Ratio (g/ml) $X_3 X_3$              | 1                      | 1                   | 64,699           | 0,1060                        | 0,7515    |
| Résidus  |                        | 10                  | 6105,054         | <b>Prob. &gt; F</b>           |           |
| Erreur pure  |                        | 5                   | 1811,4481        | <b>Prob. &gt; F</b><br>0,1827 |           |
| Erreur totale                                      |                        | 10                  | 6105,0536        | <b>R carré max</b><br>0,9653  |           |
| <b>Total</b>                                       |                        | 19                  | 52246,451        | 0,0013                        |           |

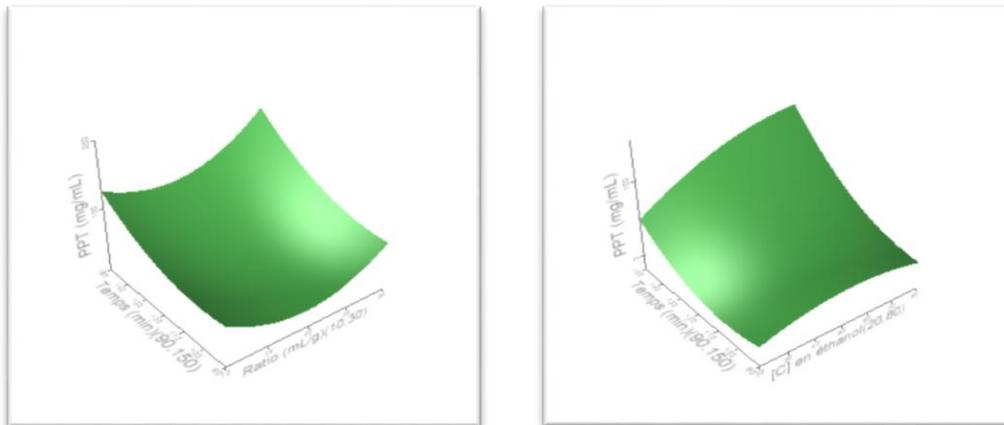
Concernant les cladodes, seuls les facteurs ( $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_1 X_2$ ;  $X_2 X_3$  et  $X_1 X_1$ ) ont un effet significatif ( $P < 0,05$ ), tandis que le coefficient linaires ( $X_3$ ), les coefficients quadratiques ( $X_2 X_2$  et  $X_3 X_3$ ) et le coefficient d'interaction ( $X_1 X_3$ ) ont été jugés insignifiants ( $P > 0,05$ ). Les résultats du tableau X montrent que tous les facteurs ( $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_3$ ;  $X_1 X_2$ ;  $X_1 X_3$ ;  $X_2 X_3$ ;  $X_1 X_1$ ;  $X_2 X_2$  et  $X_3 X_3$ ) ont un effet significatifs ( $P < 0,05$ ) est cela indique que les facteurs possèdent un impact sur l'extraction des polyphénols à partir des épiluchures de la

### ▪ Effet des interactions

Les figures ci-dessous représentent l'analyse de surface de réponse des couples temps- concentration en éthanol et temps- ratio pour les cladodes du figuier de Barbarie et les épiluchures de la pomme de terre, respectivement.



**Figure 13:** Surface de réponse des interactions temps – concentration en éthanol et temps- ratio pour les cladodes du figuier de Barbarie.



**Figure 14 :** La surface de réponse des interactions temps- concentration en éthanol et temps-ratio pour les épiluchures de la pomme de terre.

Les deux couples temps concentration en éthanol et temps ratio jouent un rôle important dans l'extraction, influençant sur le taux des polyphénols après une longue durée.

Cependant, les résultats obtenus ont montré aussi que les teneurs en PPT varient en fonction de la concentration du solvant utilisé comme le montrent les figures 13 et 14.

## Modèle mathématique

Le modèle mathématique opté après l'extraction est représenté pour les cladodes du figuier de Barbarie par l'équation suivante :

$$Y=145,14- 35,75X_1- 30,19 X_2 - 29,55 X_1 X_2 + 38,60 X_2 X_3+$$

D'après l'équation, la teneur en polyphénols totaux est affectée par la concentration en éthanol, le temps, les coefficients d'interaction (éthanol/ temps et temps/ ratio) et le coefficient quadratique (éthanol/ éthanol).

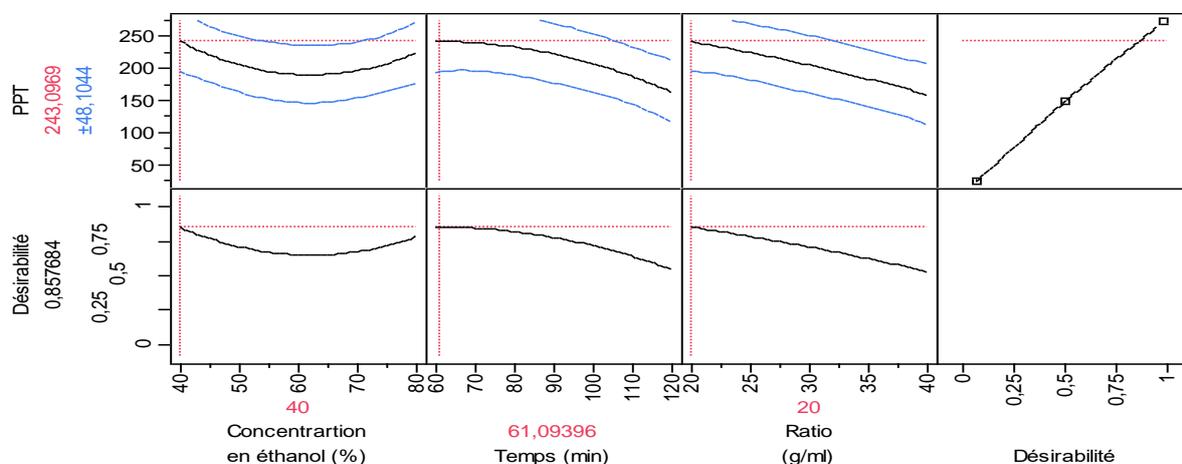
Le modèle mathématique opté d'étude d'extraction des épluchures de la pomme de terre est représenté par l'équation suivante:

$$Y= 42,57+ 21,98X_1 + 38,81X_2 + 13,23 X_3+ 17,02 X_1 X_2+ 15,04 X_1 X_3+ 8,16 X_2 X_3 -16,08X_1^2 + 23,79X_2^2+ 42,99X_3^2$$

Cette équation montre que la teneur en polyphénols totaux est affectée par tous les facteurs.

### Conditions optimales

Les conditions optimales d'extraction des composés phénoliques à partir des cladodes du figuier de Barbarie sont illustrées dans la figure suivante:

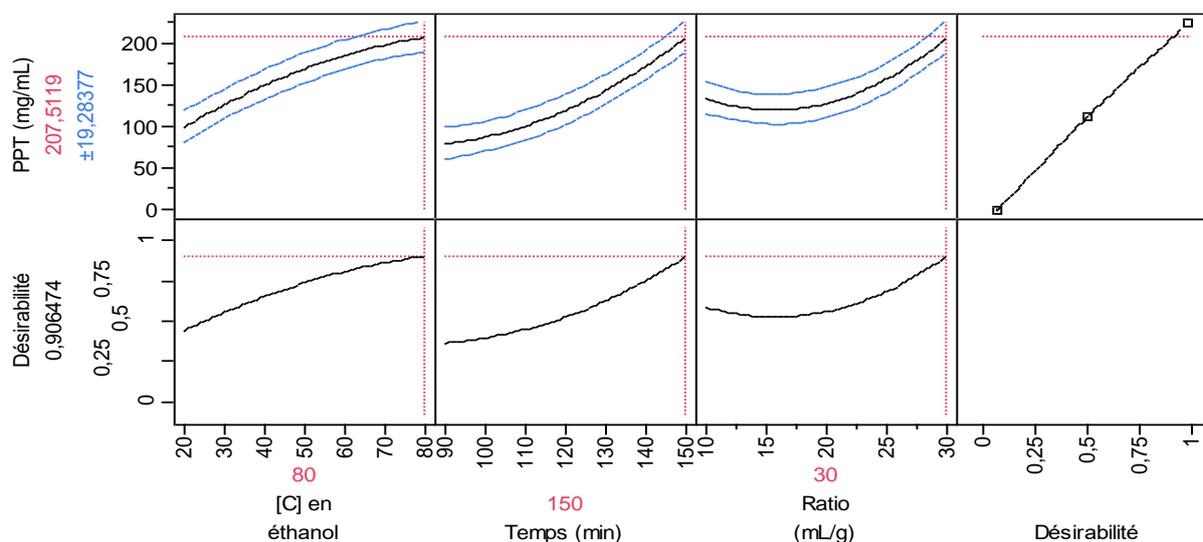


**Figure 15 :** Valeurs des paramètres optimaux de l'extraction des composés phénoliques totaux à partir des cladodes du figuier de Barbarie.

## Résultats et discussion

Les résultats obtenus pour les cladodes montrent que la meilleure teneur en polyphénols totaux ( $243,09 \pm 48,11$ ) est obtenue à une concentration d'éthanol de 40%, un temps d'extraction de 61 min et un ratio de 20 mL/g.

Quant aux conditions optimales trouvées pour les épiluchures de la pomme de terre, elles sont données dans la figure suivante :

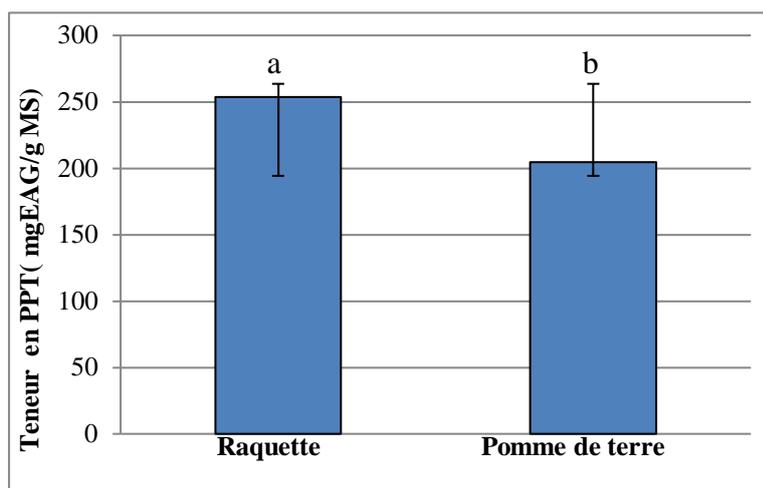


**Figure 16:** Valeurs des paramètres optimaux de l'extraction des composés phénoliques totaux à partir des épiluchures de la pomme de terre.

La teneur en polyphénols des épiluchures de la pomme de terre ( $207,51 \pm 19,28$ ) est obtenue à une concentration d'éthanol de 80%, un temps d'extraction de 150 min et un ratio de 30 mL/g.

### Validation des modèles

Les hypothèses donné par l'équation de régression de la méthodologie de la surface de réponse avec les valeurs prédites ont été confirmées par les résultats obtenues ont adopté les conditions optimales (**Figure 17**).



**Figure 17:** Teneurs des extraits obtenus dans les conditions optimales des épluchures de la pomme de terre et les cladodes en polyphénols totaux.

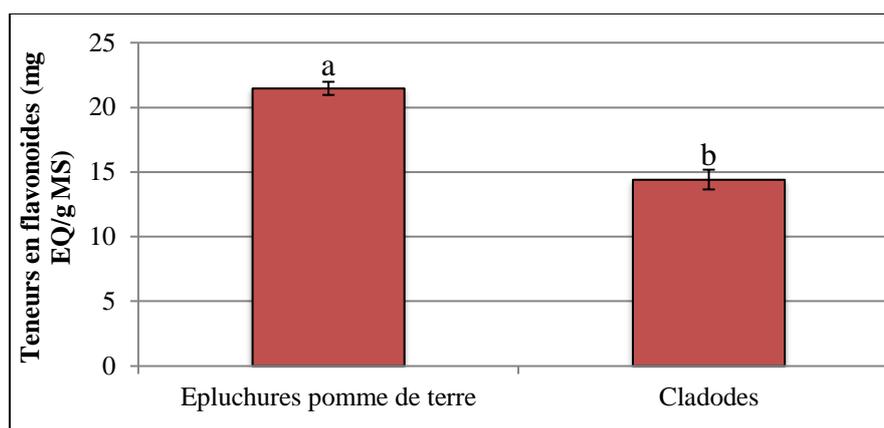
Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

Après l'optimisation, la teneur totale en polyphénols de l'extrait de cladode a été estimée à  $253,4 \pm 47,52$  mg EAG/g MS), sur le plan quantitatif du contenu phénolique, le cladode d'Algérie est devance ceux du Mexique (180 mg EAG/g MS), ceux d'Italie (26mg EAG/g MS) et d'Espagne (17mg EAG/g MS). Il semblerait que la sévérité graduelle du climat de ces régions influence le métabolisme des polyphénols (**Rochetti et al., 2018; De Santiago et al., 2018**). Concernant la teneur des épluchures de la pomme de terre en polyphénols, elle a été estimée à  $204,41 \pm 86,54$ mg EAG/g MS).

Plusieurs recherches ont montré que la macération est le meilleur moyen pour extraire les polyphénols, où le rapport échantillon/solvant, le temps et d'autres facteurs agissent directement sur le rendement d'extraction (**Chaalal et al., 2012; Koné et al., 2017**).

### II.4.1. Dosage des flavonoïdes

D'après les résultats obtenus dans la figure 18, la teneur en flavonoïdes des extraits des cladodes et des épluchures de la pomme de terre sont de  $14,42 \pm 0,50$  et  $21,47 \pm 0,76$  mg EQ/g de MS, respectivement.



**Figure 18:** Teneurs des épluchures de la pomme de terre et les cladodes en flavonoïdes.

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

Selon **Mena et al. (2018)** et **Rochetti et al. (2018)**, la classe des flavonoïdes est la classe poly phénolique dominante. Comme pour les polyphénols, la teneur en flavonoïdes des cladodes du figuier de Barbarie varie entre les cultivars, mais dépend surtout de la période de collecte car elle est fortement corrélée aux conditions environnantes (**Maataoui et al., 2006; Alves et al., 2017**).

**Lewis et al. (1998)** ont déterminé dans leurs travaux les concentrations des flavonoïdes dans différentes parties de la pomme de terre, dont les pelures. Leur étude s'est faite sur plusieurs variétés de pommes de terre, les teneurs en flavonoïdes obtenues vont de 100 à 1094  $\mu\text{g}/100 \text{ g}$  de MF. En effet les variétés de pommes de terre ainsi que l'origine des échantillons et la période de récolte régissent sur ces variations (**Ranalli et al., 2006**).

### 2.5. Evaluation des activités antioxydante

Les valeurs d' $\text{IC}_{50}$  des tests DPPH et phosphomolybdate des extraits des cladodes du figuier de Barbarie et des épluchures de la pomme de terre sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau XI :** Valeurs d' $\text{IC}_{50}$  des tests au DPPH et au phosphomolybdate.

|                                 | DPPH                | Phosphomolybdate |
|---------------------------------|---------------------|------------------|
| Epluchure de la pomme de terre  | 179,75 $\pm$ 3,18   | 10,65 $\pm$ 0,21 |
| Cladodes du figuier de Barbarie | 530,18 $\pm$ 20,711 | 43,09 $\pm$ 1,41 |

L'activité antioxydante des extraits est exprimée en IC<sub>50</sub>, ce paramètre a été employé par plusieurs groupes de chercheurs pour présentés leurs résultats, il définit la concentration efficace du substrat qui cause la perte de 50% de l'activité des différents tests. Ces IC<sub>50</sub> sont déterminées à partir des courbes de régression linéaire (**Annexe 6 et 7**), plus la valeur d'IC<sub>50</sub> est petite plus l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant (**Ling et al., 2009**).

D'après les résultats obtenus dans le test au DPPH, nous remarquons que l'extrait des épiluchures de la pomme de terre possède une faible valeur d'IC<sub>50</sub> 179,75 ± 3,18 µg/ mL par rapport à l'extrait des cladodes qui représente une valeur d'IC<sub>50</sub> 530,18 ± 20,711 µg/mL. Contrairement au test phosphomolybdate, les valeurs d'IC<sub>50</sub> enregistrées sont faibles par rapport au DPPH, dont l'extrait des épiluchures de la pomme de terre et les cladodes représentent respectivement les valeurs d'IC<sub>50</sub> de 10,65 ± 0,21 µg/mL et 43,09 ± 1,41 µg/mL.

### 3. Analyses physico-chimiques des yaourts élaborés

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques des yaourts élaborés sont illustrés dans le tableau:

**Tableau XII** : Paramètres physico-chimique des yaourts élaborés.

| Paramètres physico-chimique | Yaourt aux épiluchures de pomme de terre | Yaourt aux cladodes | Yaourt témoin |
|-----------------------------|--|---------------------|---------------|
| Humidité                    | 82%                                      | 81%                 | 89%           |
| Ph                          | 4,30                                     | 4,41                | 4,54          |
| Acidité titrable            | 85,5                                     | 90                  | 81            |
| Brix                        | 17                                       | 17,5                | 15            |
| Cendres                     | 0,55                                     | 0,985               | 0,645         |

#### 3.1. Humidité

Le yaourt à base d'épiluchures de la pomme de terre et des cladodes présente une teneur en eau de 82% et 81%, respectivement. Par contre, une teneur en eau plus élevée est trouvée pour le yaourt témoin (89%).

Dans leur étude, **Bourlioux et al. (2011)** ont montré que le yaourt présente une teneur en eau qui varie de 80 à 90%.

### 3.2. pH

Le pH est un paramètre déterminant de l'aptitude des aliments à la conservation, il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération.

D'après le tableau, les valeurs de pH des yaourts à base des épiluchures de la pomme de terre, cladodes et yaourt témoin sont de 4,30, 4,41 et 4,54, respectivement. Nous remarquons bien que le pH du yaourt témoin est plus élevé que celui du yaourt à base d'épiluchures de la pomme de terre et des cladodes. Ceci est dû certainement aux échantillons ajoutés.

Ces valeurs sont conformes aux normes du **JORA (1998)** qui se situe entre 4,3 et 4,8, et s'accordent avec celles rapportées par **Jimoh et kolapo (2007)** qui sont entre 3,4 et 5,7.

### 3.3. Acidité titrable

Les valeurs de l'acidité titrable obtenue pour le yaourt témoin et le yaourt à base d'épiluchures de la pomme de terre et les cladodes sont respectivement de 81°D, 85,5°D et 90°D.

Cette différence dans l'acidité titrable est probablement due à l'ajout des échantillons et à l'activité des bactéries lactiques. Toutefois, ces résultats sont conformes à la norme fixée par le journal officiel Algérien qui est de 78-100°D.

### 3.4. Brix

Les valeurs du brix des trois yaourts élaborés sont proches entre elles dont celle de yaourt témoin est de 15%, les yaourts à base d'épiluchures de la pomme de terre et les cladodes présentent un brix de valeur de 17,5% et 17% respectivement, les résultats obtenus sont conforme à la norme (**JORA, 1998**).

Le rapprochement des valeurs peut être expliqué par l'utilisation de même type de lait, la même quantité du sucre ajouté et aussi cela indique que les échantillons ajoutés n'ont pas influencé sur le taux du sucre dans le yaourt.

### 3.5. Cendres

Le tableau montre que le contenu minéral du yaourt à base d'épiluchures de la pomme de terre est 0,55%. Cette valeur est inférieure à celle trouvée par **González et al. (2011)** qui est de 0,56%. Concernant le yaourt à base de cladodes et le yaourt témoin le contenu minéral

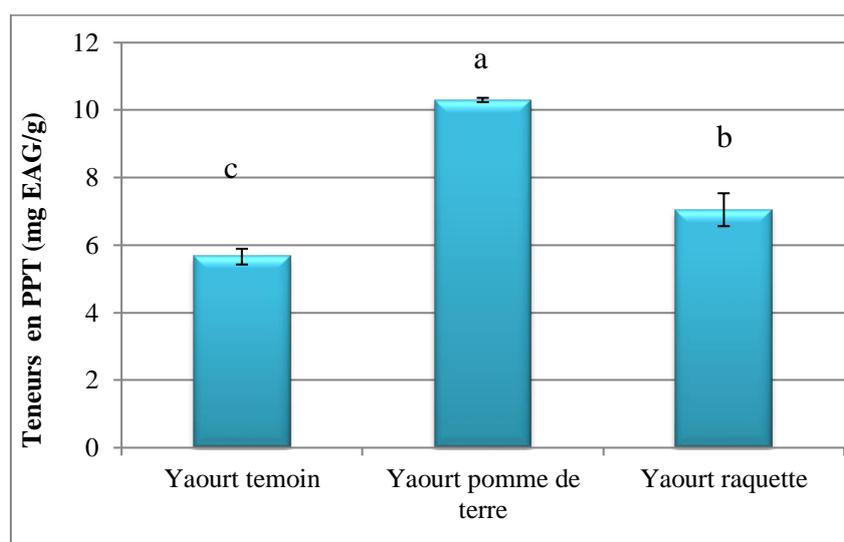
est respectivement de 0,95% et 0,654, qui sont supérieurs à celle trouvée par **Barros et al. (2010)** (1,71%).

Selon **Bezzala (2005)**, la variation de la teneur en cendres peut s'expliquer par la provenance géographique des échantillons, les conditions climatiques et d'après **Athamena (2009)**, ces variations peuvent être dues à certains facteurs écologiques, l'âge de la plante, ou même de la période du cycle végétatif.

### 4. Teneurs en antioxydants des yaourts élaborés

#### 4.1. Teneurs en composés phénoliques totaux

Les teneurs du yaourt aux épiluchures de la pomme de terre et aux cladodes en CPT sont de  $10,30 \pm 0,06$  et  $7,05 \pm 0,49$  mg EAG/g, elles sont significativement plus importantes à  $P \leq 0,05$  que celle obtenue pour le yaourt témoin qui est de  $5,66 \pm 0,233$  mg EAG/g. Ceci montre que l'ajout des deux échantillons a permis l'enrichissement du yaourt en CPT.

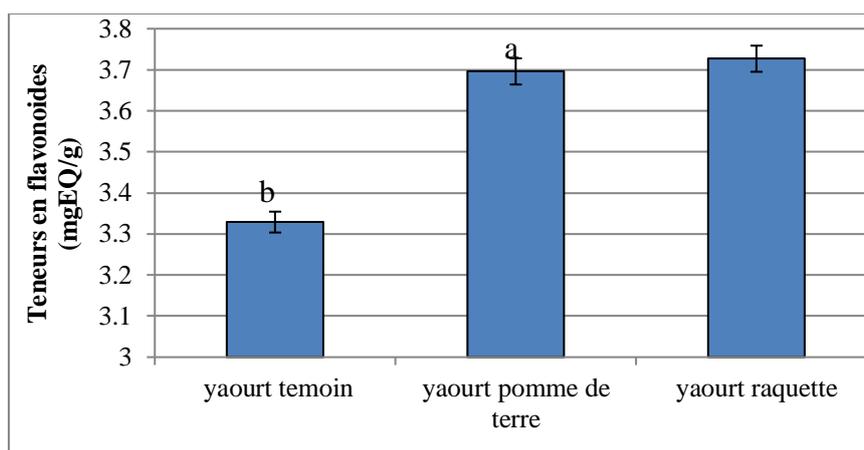


**Figure 19 :** Teneurs en polyphénols totaux des yaourts élaborés.

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

#### 4.2. Teneurs en flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes des yaourts aux épiluchures de la pomme de terre et aux cladodes sont de  $3,69 \pm 0,03$  et  $3,73 \pm 0,03$  mg EQ/g. Ils sont plus riches avec une différence significative à  $P \leq 0,05$  que le yaourt témoin ( $3,29 \pm 0,025$  mg EQ/g). Ce qui montre que les échantillons ajoutés ont apporté de flavonoïdes au yaourt.



**Figure 20 :** Teneur en flavonoïdes des yaourts élaborés.

Les moyennes en concentrations en polyphénols totaux affectées de différentes lettres indiquent des différences significatives ( $P < 0,05$ ), celles suivies de la même lettre ne sont significativement différentes.

### 5. Activité antioxydante des yaourts élaborés

Le tableau suivant représente les valeurs d'IC<sub>50</sub> des tests DPPH et phosphomolybdate des yaourts élaborés.

**Tableau XIII :** Valeurs d'IC<sub>50</sub> ( $\mu\text{g/mL}$ ) du test DPPH et phosphomolybdate des yaourts élaborés.

|                              | DPPH                    | Phosphomolybdate       |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Yaourt raquette</b>       | 42875,5 46 $\pm$ 905,34 | 3331,5 $\pm$ 91,22     |
| <b>Yaourt pomme de terre</b> | 15860, 01 $\pm$ 35,35   | 29588,5 $\pm$ 658,32   |
| <b>Yaourt témoin</b>         | 82058,13 $\pm$ 707,11   | 318650,5 $\pm$ 5755,14 |

D'après les résultats obtenus dans la présente étude, nous remarquons que le yaourt témoin possède une valeur plus élevée d'IC<sub>50</sub> par rapport aux yaourts à base des poudres de raquettes et des épiluchures de la pomme de terre. Cette différence peut être attribuée à la richesse de la poudre de ces sous-produits en composés phénoliques.

### 6. Résultats de l'analyse sensorielle

#### 6.1. Test du plan d'expérience

La planification expérimentale est une étape fondamentale pour s'assurer que les données collectées seront exploitables dans les meilleures conditions statistiques possibles.

L'objectif de ce test est de créer un plan d'expériences optimal, ou quasi optimal, dans le cadre d'expériences visant à modéliser les préférences d'un ensemble de consommateurs ou d'experts pour différents produits (**Perinel et Pages, 2004**) (tableau XV).

**Tableau XV :** Evaluation du plan d'expériences.

|               |       |
|---------------|-------|
| A-Efficacité  | 1.000 |
| D- Efficacité | 1.000 |

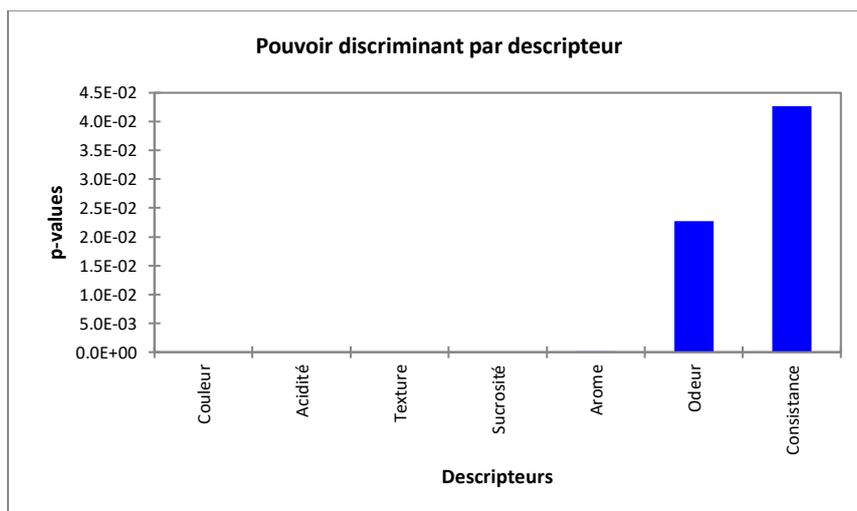
Après la génération du plan d'expérience de l'analyse sensorielle, nous remarquons que les valeurs des deux critères A- Efficacité et D- Efficacité sont affichées, cela implique qu'un plan optimal pour les résultats des membres de panels expert a été trouvé. Les données obtenues sont acceptables; ce qui valide les autres tests du logiciel XLSTAT.

## 6.2. Caractérisations des produits

Cette analyse permet de caractériser rapidement des produits en fonction des préférences des juges, donc il s'agit d'identifier les descripteurs qui discriminent le mieux des produits et de déterminer les caractéristiques importantes de ces derniers, dans le cadre de l'analyse sensorielle (Husson et al., 2009)

### 6.2.1. Pouvoir discriminant par descripteur

Ce test permet d'afficher les descripteurs (les caractéristiques du produit) ordonnés de celui qui a le plus fort pouvoir discriminant sur les produits, à celui qui en a le plus faible. Les résultats de ce test sont présentés sur la figure 21.



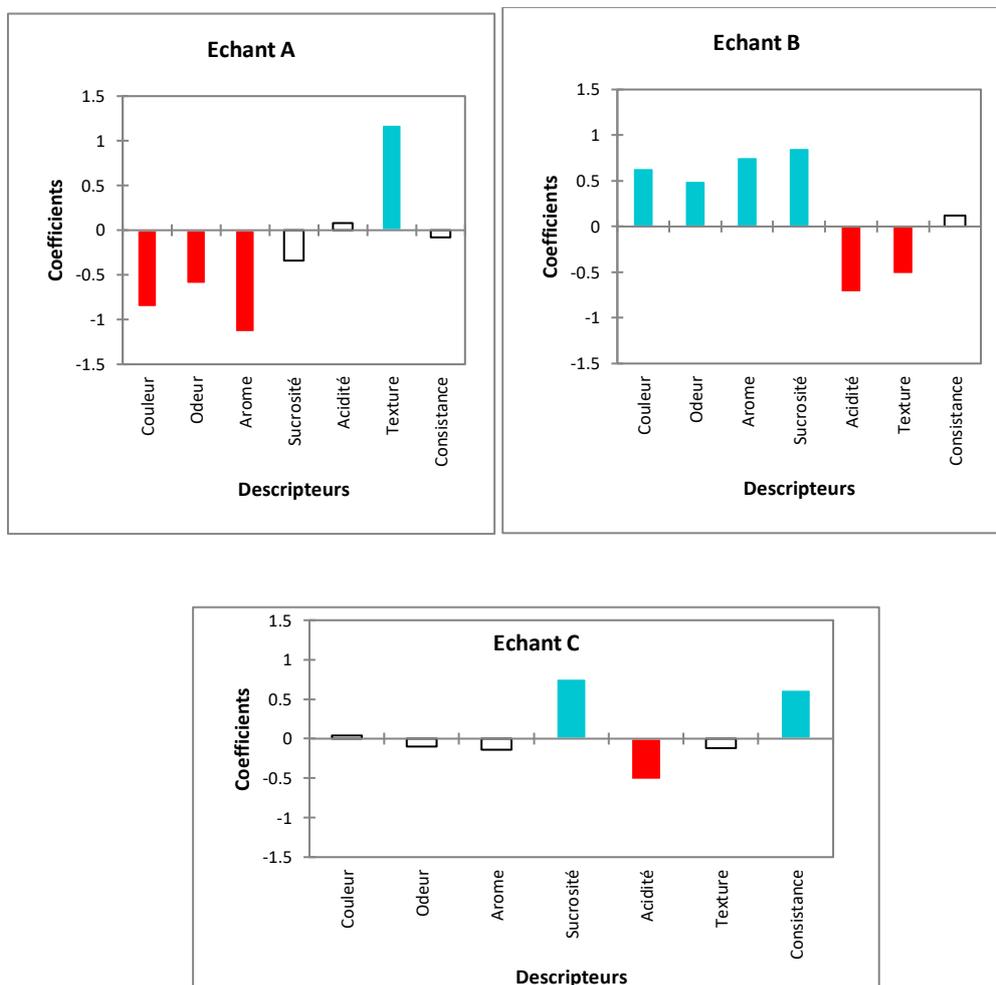
**Figure 21 :** Pouvoir discriminant par descripteur

La figure 21 montre que les descripteurs les plus discriminants sont : couleur, acidité, texture, suivi de la sucrosité et de l'arôme. Cela signifie que les experts ont constaté des divergences au niveau de ces descripteurs pour les échantillons préparés.

Cependant l'odeur et la consistance n'ont pas été discriminées. Ce qui explique que les experts n'ont pas constaté des différences entre les échantillons au niveau de ces descripteurs.

### 6.2.2. Coefficients des modèles

Dans ce test sont affichés, pour chaque descripteur et pour chaque produit, les coefficients du modèle sélectionné. Les résultats sont présentés dans la figure 22.



**Figure 22** : Coefficients des modèles des échantillons du yaourt A, du yaourt B et yaourt C

Le graphe permet de visualiser et de définir les appréciations des échantillons selon les experts comme suit :

- En rouge, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement négatives.
- En blanc les coefficients dont les caractéristiques ne sont pas significatifs.
- En bleu, les coefficients dont les caractéristiques sont significativement positives,

Ces résultats de la figure 22 montrent que :

- L'échantillon (A) qui correspond au yaourt témoin présente une texture intense (en bleu), par contre sa couleur, son arôme et son odeur sont d'une faible intensité (en rouge). Les autres caractéristiques (en blanc) sont moyennement intenses.
- L'échantillon (B) qui correspond au yaourt à base d'épluchures de la pomme de terre est caractérisé par l'intensité de sa couleur, son arôme, son arôme et sa sucrosité (en bleu), sa texture et son acidité sont faiblement intense (en rouge). La consistance est moyennement intense.
- L'échantillon (C) qui correspond au yaourt à base des cladodes est caractérisé par l'intensité de sa sucrosité et sa consistance (en bleu), par contre son acidité est d'une faible intensité (en rouge). Les autres caractéristiques (en blanc) sont moyennement intenses.

### 6.2.3. Moyennes ajustées par produit

L'objectif de ce test est de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit.

Les résultats des moyennes ajustées par produit sont illustrés dans le tableau XVI.

**Tableau XVI:** Moyennes ajustées par produit.

|          | Odeur | Arome | Couleur | Sucrosité | Consistance | Acidité | Texture |
|----------|-------|-------|---------|-----------|-------------|---------|---------|
| Echant B | 3,400 | 3,600 | 2,600   | 3,400     | 2,500       | 1,900   | 2,900   |
| Echant C | 2,800 | 2,700 | 2,000   | 3,300     | 3,000       | 2,100   | 3,300   |
| Echant D | 3,200 | 3,100 | 2,600   | 1,800     | 2,000       | 3,400   | 3,200   |
| Echant E | 2,800 | 3,100 | 1,500   | 2,000     | 2,100       | 3,000   | 3,100   |
| Echant A | 2,300 | 1,700 | 1,100   | 2,200     | 2,300       | 2,700   | 4,600   |

Le tableau XVI permet de ressortir les moyennes lorsque nous croisons les produits et leurs caractéristiques. Les couleurs correspondent, pour le bleu à un effet significativement positif du descripteur sur le produit et pour le rouge, à un effet significativement négatif du descripteur sur le produit. Les autres caractéristiques des différents produits n'ont pas d'effet sur les produits.

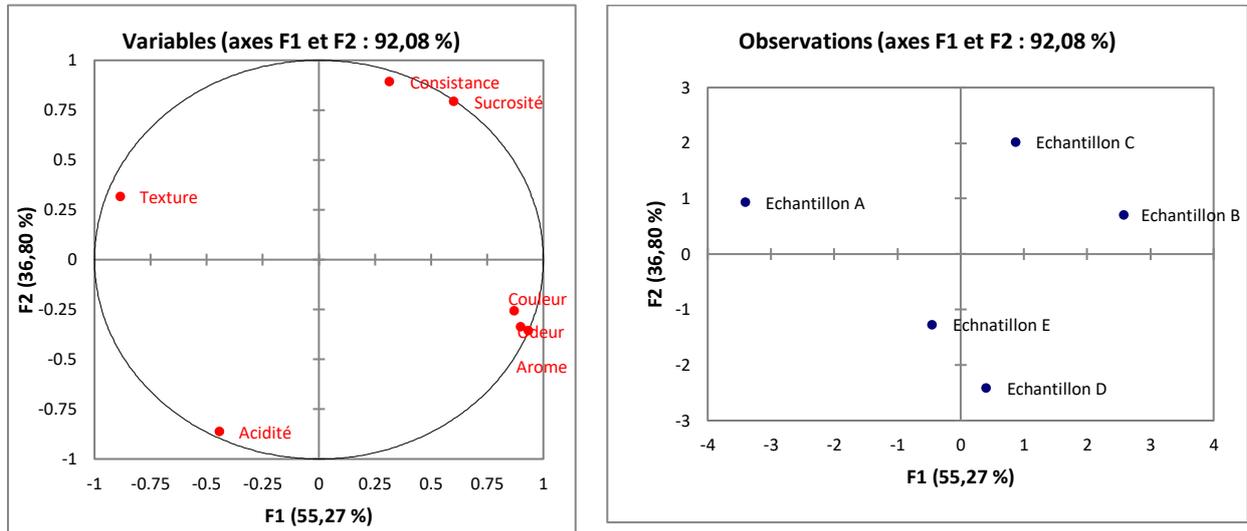
Le tableau XVI montre clairement que les descripteurs sont plus intenses pour le produit B (en bleu) que pour les autres produits A, C, D et E (en rouge) à l'exception de son acidité et sa texture.

### 6.2.4. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est l'une des méthodes d'analyse de données multi variées les plus utilisées dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans

lequel les observations (des individus, des produits, ...) sont décrites par  $p$  variables (des descripteurs, attributs, mesures, ...). Si  $p$  est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations (Jolliffe, 2002).

La figure 23 permet de présenter les corrélations entre les variables et les facteurs par l'ACP.



**Figure 23:** Corrélations entre les variables et les facteurs.

La carte obtenue, dont la qualité est assez bonne puisqu'elle permet de représenter 92,08 % de la variabilité, permet de constater que les produits A, B, C, D et E ont été perçus par les experts comme assez différents. En effectuant la superposition des deux graphes de la figure 23, nous pouvons constater que le produit A est caractérisé par sa texture le produit B est beaucoup plus caractérisé par son odeur, sa couleur et son arôme, alors que le produit C est caractérisé par sa sucrosité. Concernant les produits D et E sont caractérisés par leur acidité.

# **Conclusion et Perspectives**

Ce présent travail a été mené en vue d'optimiser l'extraction des composés phénoliques contenus dans les cladodes du figuier de Barbarie et les épluchures de la pomme de terre et aussi l'élaboration d'un yaourt à base des poudres de ces sous-produits. A cet effet plusieurs analyses ont été effectuées afin de trouver les conditions optimales pour l'extraction des polyphénols totaux de ces résidus. L'activité antioxydante de ses extraits et ensuite évaluée, suivi par des analyses effectuées pour les yaourts élaborés.

Il en ressort de l'analyse des résultats obtenus que les conditions optimales d'extraction correspondent à l'éthanol 40% (v/v) pendant 61 minutes avec un ratio de 20 mL/g pour les cladodes et l'éthanol 80% (v/v) pendant 150 min avec un ratio de 30 mL/g concernant les épluchures de la pomme de terre.

Après optimisation des conditions d'extraction avec le plan central composite des échantillons étudiés, les résultats obtenus indiquent que la teneur en polyphénols totaux des cladodes est de 253,4 mg EAG/g de MS et celle d'épluchures de la pomme de terre est de 204,41 mg EAG/g de MS. Les teneurs en flavonoïdes sont de 14,42 mg et 21,47mg EQ/g de MS EQ/g de MS pour les extraits des cladodes du figuier de Barbarie et d'épluchures de la pomme de terre, respectivement.

A la lumière des résultats obtenus, il résulte également que les extraits des sous-produits utilisés révèlent une activité antioxydante élevée pour les différents tests réalisés (pouvoir anti-radicalaire au DPPH et pouvoir réducteur au phosphomolybdate). Les  $IC_{50}$  trouvées sont de 530,18  $\mu\text{g/mL}$  et 179,75  $\mu\text{g/mL}$  pour les extraits de cladodes et d'épluchures de la pomme de terre respectivement, dans le test au DPPH. Dans le test au phosphomolybdate, l'extrait des cladodes a révélé une  $IC_{50}$  de 43,09  $\mu\text{g/mL}$  et celui des épluchures de la pomme de terre de 10,65  $\mu\text{g/mL}$ .

Les poudres des échantillons (épluchure de pomme de terre et cladodes) ont été utilisées avantageusement dans un produit laitier dont le but est l'enrichissement de yaourt. Cinq produits ont été formulés dont deux à base de petits morceaux séchés des sous-produits étudiés, deux avec les poudres issues de ces sous-produits et un yaourt témoin. Des analyses physico-chimiques effectuées ont montré que l'humidité de yaourt à base d'épluchures de pomme de terre est de 82% celle du yaourt à base de cladodes est 81% et le yaourt témoin a une humidité de 89%. Les valeurs de pH des trois yaourts sont de 4,30, 4,41 et 4,54 pour les yaourts à base des épluchures de pomme de terre, de cladodes et pour le témoin et leur acidité

titrable sont de 85,5 ; 90 et 81, respectivement. Ils ont montré dans le même ordre des valeurs de brix de 17 ; 17,5 ; 15 et des teneurs en cendres de 0,55 ; 0,985 ; 0,645.

Les teneurs du yaourt aux épluchures de la pomme de terre et des cladodes en CPT sont de  $10,30 \pm 0,064$  et  $7,05 \pm 0,488$  mg EAG/g, elles sont significativement plus importantes à  $P \leq 0,05$  que celle obtenue pour le yaourt témoin qui est de  $5,66 \pm 0,233$  mg EAG/g. Les yaourts aux épluchures de la pomme de terre ( $3,69 \pm 0,03$  mg EQ/g) et aux cladodes ( $3,73 \pm 0,03$  mg EQ/g) sont aussi plus riches en flavonoïdes avec une différence significative à  $P \leq 0,05$  que le yaourt témoin ( $3,29 \pm 0,025$  mg EQ/g). Ce qui montre que les échantillons ajoutés ont apportés de composés phénoliques au yaourt. En outre, le yaourt témoin possède une faible activité antioxydante comparativement aux yaourts à base des poudres de raquettes et des épluchures de la pomme de terre.

D'autre part, les résultats des analyses sensorielles (les tests de dégustation et de classement) ont permis de faire ressortir le classement de préférences suivant : en premier lieu le yaourt témoin et le yaourt à base des morceaux d'épluchures de la pomme de terre, vient ensuite le yaourt à base de la poudre d'épluchures de la pomme de terre et en dernier lieu viennent le yaourt à base de la poudre et morceaux de cladodes.

Il est donc possible de produire un yaourt enrichi avec les cladodes du figuier de Barbarie et les épluchures de la pomme de terre comme ingrédients naturels à vertu antioxydants.

La composition et la diversité des sous-produits des cladodes et ceux d'épluchures de la pomme de terre en composés phénoliques, leur confèrent leur rôle bénéfique pour la santé. Une consommation des produits éventuellement enrichis par ses sous-produits est conseillée pour prévenir certaines maladies.

En perspectives il serait intéressant :

- ▶ D'optimiser d'autres paramètres influençant l'extraction des polyphénols tels que la température et le pH.
- ▶ De déterminer d'autres types d'activités (que l'activité antioxydante) telles que les activités anti-inflammatoire, antibactérienne etc.
- ▶ D'optimiser les conditions de formulation des yaourts avec les cladodes du figuier de barbarie et d'épluchures de la pomme de terre.
- ▶ De déterminer d'autres propriétés telles que les propriétés rhéologiques des yaourts élaborés.

# **Références bibliographiques**

### A

**Akyol H., Riciputi Y., Capanoglu E., Fiorenza Caboni M., Verardo V. (2016).** Phenolic Compounds in the Potato and Its By products: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*; 17(6): 835.

**Alessandro LG, Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. (2012).** Extraction assistée par ultrason des polyphénols de l'aronia noir. *Technologie de séparation et de purification*, 93,42-47.

**Alves, F. A. L., Andrade, A. P. D., Bruno, R. D. L. A., Silva, M. G. D. V., Souza, M. D. F. V. D., & Santos, D. C. D. (2017).** Seasonal variability of phenolic compound and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* genres. *Food Science and Technology*, 37(4), 536-543.

**Amanpour R. (2015).** Effets antibactériens de l'extrait éthanoïque de la peau de *Solanum tuberosum* in vitro. *J HerbMed Pharmacol* 4:45-48.

**Angulo- bejarano P. I., Martinez-Cruz O., and Paredes- López O. (2014).** Phytochemical content , Nutraceutical Potential and Biotechnological Applications of an ancient Mexican plants : Nopal (*Opuntia ficus- indica*) . *Current Nutrition & Food Science*. 10 : 196 -217 .

**Arapoglou D., Vlyssides A., Haidemenaki K., Malli V., Marchant R., Israilides C., Road C. (2009).** Alternative ways for potato industries waste utilisation. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology*, Chania, Crete, Greece, (3–5 September).

**Arapoglou D., Varzakas Th., Vlyssides A., Israilides C. (2010).** Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*. 30: 1898–1902.

**Athamena S. (2009).** Etude quantitative des flavonoïdes des graines de *Cuminum cyminum* et les feuilles de *Rosmarinus officinalis* et l'évaluation de l'activité biologique. Thèse de Magistère en Biochimie Appliquée. Université El Hadj Lakhdar. Batna.88 p.

### B

**Barros L., Carvalho A., Morais J., Ferreira I. (2010).** Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: Detailed characterization in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties. *Food Chemistry*. 120 247 254.

**Barros J., Serk H., Granlund I., Pesquet E. (2015).** *Ann. Bot. (Lond.)*, 115, pp. 1053-1074

**Béal C. et Sodini I. (2003).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. *Technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire*. Paris, 16p.

**Benattia K. (2017).** Analyse et Application des extraits de pépins de figues de barbarie. Thèse de doctorat en chimie université Aboubekr Belkaid – Tlemcen. pp. 152.

## Références bibliographiques

---

**Bergamaier D. (2002).** Production d'exo polysaccharides par fermentation avec des cellules Immobilisées de *Lactobacillus rhammosus* RW-959M dans un milieu à base de perme at de Lactosérum. Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada.

**Bezzala. (2005).** Essai d'introduction de l'arganier dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Thèse de Magister en Sciences Agronomiques. Université El Hadj Lakhdar, Batna. p106.

**Boizot N., Charpentier J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'Inra, 4 p.

**Boutakiout A. (2015).** Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*). 2015. Thèse de doctorat. Université d'Angers

**Bourget D. (1998).** Le grand livre des variétés de pommes de terre. AD Hoc. France: Sylvain Cousin. ISBN: 978-2951318502.

**Bourlioux P., Braesco V., Mater DDG. (2011).** Yaourts et autres laits fermentés. Cahiers de nutrition et de diététique 46, 305—314

**Bouzoubaâ Z., Essoukrati Y., Tahrouch S., Hatimi A., Gharby S., Harhar H. (2014).** Etude physico-chimique de deux variétés de figuier de barbarie ("Acchefri" et "Amouslem") du sud marocain. Les technologies de laboratoire, 8(34).

**Brahmi F., Hauchard D., Guendouze N., Madani K., Kiendrebeogo M., Kamagaju L., Stévigny C., Chibane M., Duez P. (2015).** Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian Mentha species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). Industrial Crops and Products, 74: 722–730.

**Burkart, A. (1987).** Leguminosas. In: Dimitri, M. Encyclopédie Argentina de Agricultural y Jardineria, Tomo I. Description de plantas Cultivadas. Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires. 467-536.

### C

**Cassano A., Conidi C., Drioli E. (2009).** Physico-chemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. Desalination, 250:1101-1104.

**Catalogue des variétés de pommes de terre.** <http://plantdepommeeterre.org/index/fiches-descriptives-des-varietes-de-pomme-de-terre/>

## Références bibliographiques

---

**Chaabi M. (2008).** Etude photochimique et biologique d'espèces végétales africaines : *Euphorbia stenocladabail.* (euphorbiaceae), *anogeissusleiocar pusguill.* & *perr.* (Combretaceae), *limon iastrumfeeii (girard) batt.* (plumbaginaceae). Thèse de doctorat.

**Chaalal M., Touati N., Louaileche H. (2012).** Extraction of phenolic compound and *in vitro* antioxidant capacity of prickly pear seeds. *Acta botanica gallica*, 159(4), 467-475.

**Chang Y.C., Yang, M. H., Wen, H. M., Cherm, J. C. (2002).** Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3).

**Charmley E., Nelson D., Zvomuya F. (2019).** Nutrient cycling in the vegetable processing industry : L'utilisation des sous-produits de la pomme de terre. *Can J Soil Sci* 86:621-629

**Chirinos R., Rogez, H., Campos D., Pedreschi R., Larondelle Y. (2007).** Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz et Pavon) tubers. *Separation and Purification Technology*;55 (2), 217-225.

**Civille G. V. et Oftedal K. N. (2012).** Sensory evaluation techniques - make "good for you" taste "good". *Physiology Behavior*, 107(4), 598-605.

**Classeau P., (2010).** Technologie laitière. Fabrication du yaourt à la ferme.

**Codex Stan 243. (2003).**

## D

**De Santiago E., Domínguez-Fernández M., Cid C., De Peña M. P. (2018).** Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food chemistry*, 240, 1055-1062.

**Descours E., Hambleton A., Kurek M., Debeaufort F., Voilley A., Seuvre AM. (2013).** Aroma behaviour during steam cooking within a potato starch-based model matrix. *Carbohydr Polym*;95(1):560-8.

**De Sotillo R., Hadley M., Holm ET. (1994) a.** Phenolics in aqueous potato peel extract : extraction, identification and degradation. *J Food Sci* 59:649-651.

**De Sotillo R., Hadley M., Holm ET. (1994) b.** Potato peel waste : stability and antioxidant activity of a freeze- dried extract. Extrait lyophilisé. *J Food Sci* 59:1031-1033.

## Références bibliographiques

---

**Dib H., Beghdad C., Meriem Belarbi.(2013).**Phytochemical study of Algerian Opuntia ficus- indica laboratory of Natural product. Department of Molecular and cell biology. Tlemcen. Algeria,185-189 p.

**Dimitri Milan. (1987).** *Descripción de plantas cultivadas*, t. 1 (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería), Buenos Aires, ACME S.A.C.I.

### *E*

**El Hajaji H., Lachkar N., Alaoui K., Cherrah Y., Farah A., Ennabili A., Lakar M. (2011).** .Activité antioxydante, criblage phytochimique et teneur en phénols totaux d'extraits de trois genres d'écorce caroubier poussant au Maroc. Journal arabe de chimie, 4(3), 321-324.

### *F*

**Faiza B., Abderrahmene B., Nabiha B. (2019).** Effet des extraits du figuier de barbarie (opuntia ficus-indica) sur le développement des lapins oryctolagus cuniculus. In VIIème congrès international de l'association Tunisienne de Biotechnologie et Valorisation des Bio-Ressources (AT-BVBR) organise son congrès international qui se déroulera du 20 au 23 Mars 2019 a l'hôtel Thabraca-Tabarka, TUNISIE.

**FAO., (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Amazon, Rome, Italie.

**François M. LUQUET. (1990).** Laits et produits laitiers vache. Brebis. Chèvre. Technique et documentation. Lavoisier 11, rue Lavoisier – 75384 Paris Cedex 08.

### *G*

**Galvan D'Alessandro L. (2013).** Eco-procédés pour la récupération sélective d'antioxydants à partir d'Aronia melanocarpa et ses co-produits (Doctoral dissertation, Lille1).

**Garcia-castello E.M., Rodriguez-lopez A.D., Mayor L., Ballesteros R., Conidi C. and Cassano A. (2015).** Optimisation of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (Citrus paradisi L.) solid wastes. LWT Food Sci. Technol, 64 : 1114–1122.

**González E.A., Agrasar A.T., Castro L.M., Fernández N.P., et Guerra. (2011).** Solidstate fermentation of red raspberry (*RubusidaeusL.*) and *Arbutus* berry (*Arbutus unedoL.*) and characterization oftheir distillates. Food Research International. 441419–1426A.

### *H*

**Habibi Y-(2004).** Contribution à l'étude monophologique ultra structural et chimique de la figue de barbarie, Les polyscharides pariétau : caractérisation et modification chimique.thèse de doctorat en chimie molécules organique d'interet biologique et industriel. Universite Josen fourie et Cadi Ayye, facultè des sciences semlalia Marrakach, P3-115.

## Références bibliographiques

---

**Hossain M.B., Brunton N.P., Patras A., Tiwari B., O'Donnell C., Martin- Diana A.B., Barry-Ryan, C. (2012).** Optimization of ultrasound assisted extraction of antioxidant compounds from marjoram (*Origanum majorana L*) using response surface methodology. *Ultrason Sonochem*; 19, 582-590.

**Husson F., Pagès J. (2009).** SensoMiner dans Evaluation sensorielle- Manuel méthodologique 3<sup>ème</sup> éd. Lavoisier, vol. 23, p. 16.

### J

**Jean-Marie Pelt, 2009.** *Des Légumes – Petite encyclopédie gourmande*, Paris, J'ai lu , (1<sup>re</sup> éd. 1993), 156 p. (ISBN 978-2-290-01914-6), p. 32.

**Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P., Brule G. (2008).** Les produits laitiers (2e Ed.), Edition Tec et Doc, Lavoisier (3) Paris, p31.

**Jimoh K.O et Kolapo A.L. (2007).** Effect of different stabilizers on acceptability and shelf of soy-yogurt. *African Journal of Biotechnology*, Vol.6 (8), pp 1000-1003.

**Jolliffet I .T(2002).** Principal Component Analysis, 2ème Ed. Springer, New York, p. 13-18.

**JORA N°86 du 18 Novembre (1998)** Arrêté interministériel du 16 jourmadaethania 1419 correspondant au 7 octobre 1998 relatif aux spécifications techniques des yaourts et aux modalités de leurs mises à la consommation p 22. *Journal of Biological Macromolecules*, 29(2), 115-125.

**Juntachote T., Berghofer E., Bauer F., et Siebenhandl S.(2006)** The application of response surface methodology to the production of phenolic extracts of lemon grass, galangal, holy basil and rosemary. *International Journal of Food Science and Technology*; 41(2) ,121-133

### K

**Kaanane A. (2000).** Technique de valorization industrielles des figues de barbarie. Acte de la deuxième journée nationale sur la culture de cactus, p24.

**Kashif G., et Young H.C. (2009).** Optimization of ultrasound assisted extraction of phenolic compound and antioxidants from grape peel through response surface methodology. *Journal of The Korean Society for Applied Biological Chemistry*; 52, 295-300.

**Koné K. P. F. O., Soro Y., Siaka, S. (2017).** Détermination des paramètres influençant le rendement d'extraction hydro-alcoolique des métabolites secondaires de *Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae) et *Tridax procumbens linn* (Asteraceae). *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 44, 15-22.

### L

## Références bibliographiques

---

**Leksir.CH. (2012).** Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière Algérienne ; Magister : science alimentaire, université Mentouri de Constantine, P 05, 07, 20-23.

**Lewis CE., Walker JRL., Lancaster JE., Sutton KH. (1998).** Determination of Anthocyanins, Flavonoids and Phenolic Acids in Coloured Potatoes: Cultivars of *Solanum tuberosum* L. New Zealand. Journal of Agricultural and Science of Food. 77: 45-57.

**Ling L.T., Yap S., Radhakrishnan A.K., Subramaniam T., Cheng H. M. et Palanisamy U. D. 2009.** Standardised *Mangifera indica* extract is an ideal antioxidant. Food Chemistry, 113 : 1154-1159.

**Lisinska G., Leszczynski W. (1987).** Les tubercules de pomme de terre comme matière première pour la transformation et la nutrition.

**Liu S., Fu Y., Nian S. (2014).** Buffering colour fluctuation of purple sweet potato anthocyanins to acidity variation by surfactants. *Food Chem*;162:16-21.

**Lubin. D. ( 1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ; 155.

**Luquet F. (1990).** Les produits laitiers. Deuxième édition. Paris : Lavoisier. p45

**Luquet F.M. et Carrieu G. (2005).** Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Techniques et documentation. Edi Lavoisier, Paris. 307.

## M

**Maataoui B. S., Hmyene A., & Hilali S. (2006).** Activités antiradicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie [*Opuntia ficus indica*]. *Lebanese science journal*, 7(1), 3-8.

**Mahaut M., Jeantet R., Brulé G., Schuck P. (2000).** Produits fermentés et desserts lactés. In: Les produits industriels laitiers. Tech&Doc, Lavoisier, Paris.

**Mahgoub H., Eisa G., Youssef M. et Molecular. (2015).** biochemical and anatomical analysis of some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars growing in Egypt. *J. Genet. Eng. Biotechnol*, 13: 39–49.

**Malainine M.E., Dufresne A., Dupeyre D., Mahrouz M., Vuong R., & Vignon, M. R. (2001).** Structure et morphologie des raquettes et des épines du figuier de barbarie. *Phys. Chem. News*, 4, 126-13.

**Maldonado AFS., Mudge E., Gänzle MG. (2014).** Extraction et fractionnement des acides phénoliques et des glycoalcoïdes de la pomme de terre.

**Marc F., Davin A., Deglène-Benbrahim L., Ferrand C., Baccaunaud M. et Fritsch P. (2004).** Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *M/S : médecine sciences*, 20(4), 458–463. doi:10.7202/008122ar.

## Références bibliographiques

---

**Marty-Teyssat C., DE la Torre F ., et Garel JF. (2000).**Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckusspbulgaricus* upon aeration Involvement applied and environmental microbiology .Vol 66 (1):pp 262-267.

**Mena P., Tassotti M., Andreu L., Nuncio-Jáuregui N., Legua P., Del Rio D., & Hernández F. (2018).** Phytochemical characterization of different prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cultivars and botanical parts: UHPLC-ESI-MSn metabolomics profiles and their chemometric analysis. *Food Research International*, 108, 301-308.

**Méziane D. (1991).** Histoire de la pomme de terre. Diététique n°25 pp : 29.

**Mohammedi Z., Atik F. (2011).** Impact of solvent extraction type on total polyphénols content and biological activity from *Tamrix aphylla* (L) Karst. *Inter J pharma bio Scio*, 2: 209-615.

**Molyneux P. (2004).**The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Journal of Science Technology*.26 (2), 211-219.

**Muniandy P., Shori A.B., and Baba A.S., (2016).** Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 1-8.

**Murillo-Amador B., Troyo Diguez E., Nieto Garibay A., Aguilar Garcia M. (2002).** El nopal : cultivo Forrajero sostenible para el noroeste de Mexico Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, Mexico

### N

**Naczk M., Shahidi F. (2004).** Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatographie A*.1054, 95-111.

**Neffar S. (2012).** Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de barbarie (*Opuntia ficus – indica* l. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes Algériennes de L'EST : cas de Souk –ahras et Tebessa. Thèse de doctorat université Badji Mokhtar, Annaba . PP. 132.

**Nostro A., Germanò MP., D'angelo V. (2000).** Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant antimicrobial activity. *Lett Appl Microbiol* 30:379-384.

### O

**Orr PH., Toma RB., Munson ST. (1982).**Sensory evaluation of breads containing various levels of potato peel. *J* 59:605-612.

### P

## Références bibliographiques

---

**Panda V., Sonkamble M., Patil S. (2011).** Wound healing activity of Ipomoea batatas tubers (sweet potato). *Funct Foods Health Dis* 10:403-415.

**Pradal D. (2016).** Eco-procédé d'extraction de polyphénols antioxydants à partir d'un co-produit agro-alimentaire (Doctoral dissertation, Lille 1).

### R

**Ranalli A., Contento S., Lucera L., Di Febo M., Marchegiani D., Di Fonzo V. (2006).** Factors affecting the contents of iridoid oleuropein in olive leaves (*Olea europaea* L.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 434-440.

**Reberneau-Gayon P. (1968).** Notion générale sur les composés phénoliques. IN : les composés phénoliques des végétaux. Edition Dunod, 1-40.

**Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. et Rice-Evans C., (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26, 1231–1237.

**Rochetti G., Pellizzoni M., Montesano D., & Lucini L. (2018).** Italian *Opuntia ficus-indica* cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*, 7(2), 24.

**Romain J., Mahaut M., Brulé G., Schuck P. (2008).** Les produits industriels laitiers. Londres-Paris-Newyork : Lavoisier p 48.

**Romano A., D'Amelia V., Gallo V., Palomba S., Carputo D., & Masi, P. (2018).** Relationships between composition, microstructure and cooking performances of six potato varieties. *Food Research International*;114:10–19.

**Ru W, Pang Y, Gan Y, Liu Q, Bao J.(2019).** Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. *Antioxidants (Basel)*;8(10):419.

**Rytel E., Tajner-Czopek A., Kita A., Aniolowska M., Kucharska AZ., Sokół-Łętowska A., Hamouz K.(2014).** Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chem*;161:224-9

### S

**Schieber A., Saldaña MDA. (2009).** Potato peels : a source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds-a review.

**Schuck P., Brulé G., Mahaut M., Romain J. (2000).** Les produits industriels laitiers. Londres-Paris-Newyork : Lavoisier p48.

**Schweizer M. (1997).** Docteur nopal le médecin du bon dieu. APB Edition, Paris, 81pp.

## Références bibliographiques

---

**Smith O. (1987).** Effect of cultural and environmental conditions on potatoes for processing. p 73- 146. Dans: Talburt, W.F. et O. Smith (ed.). Potato processing (fourth ed). Van Nostrand Reinhold Company, New-yok.

**Sodini I., et Beal C. (2012).** Fabrication des yaourts et laits fermentés. Ed. Technique de l'ingénieur. F6315.pp :02-16).

### T

**Talbi H., Boumaza K. El-mostafa., Talbi J., Hilali A. (2015).** Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique et aqueux de la Nigelle sativa L. (Evaluation of antioxydant activity and physico- chemical composition of methanolic and aqueous extract of *Nigella sativa* L. Master. Environ. Sci. 6(4) (2015) 1111-1117.

**Telli A., Mahboub N., Boudjeh S., Siboukeur OEK., Moulti-Mati F. (2010).** Optimisation des condition d'extraction des polyphénols de dates lyophilisées (Phoenix daty lifera L.) variété ghars .Annales des sciences et technologies,2 (2), 107-114.

**Thorat ID., Jagtap DD., Mohapatra D. (2013).** Antioxydants, leurs propriétés, leurs utilisations dans les produits alimentaires et leurs implications légales.Int J Food Stud 2:81104.

**Toma RB., Orr PH., D'appolonia B. (1979).** Physical and chemical properties of potato peel as a source of dietary fiber in bread.

### U

**Umamaheswari M., Chatterjee T. K. (2008).** *In vitro* antioxydant activities of the fractions of coccinia grandis L. leaf extract. African journal complementations and alternative medicine S(1): 61-73.

### V

**Valente L.M.M., da Paixão D., do Nascimento A.C., dos Santos P.F.P., Scheinvar L.A. Moura M.R.L., Tinoco L.W., Gomes L.N.F., da Silva, J.F.M. (2010).** Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). Food Chemistry. 123, 1127–1131.

**Veisseyre R. (1975).**Technologie du lait. p 329-330.

**Vermerris W et Nicholson R. (2008).** Phenolic compound Biochemistry. Springer science + Business Média B.V. P: 36.

**Vignola C. I. (2002).** Science et technologie du lait : transformation du lait. Ed Lavoisier, Paris, p: 600.

**Vilain A. C. (2010).** Qu'est-ce que le lait ? Revue Française d'Allergologie, 50, 124-127.

## Références bibliographiques

---

### **Sites d'internet :**

Anonyme 1, (2018): Consulté le lien suivant: [WWW.raw-milk-facts.com](http://WWW.raw-milk-facts.com)

Anonyme 2, (2018): Consulté le lien suivant: <http://www.musee-afrappier.qc.ca/fr/>

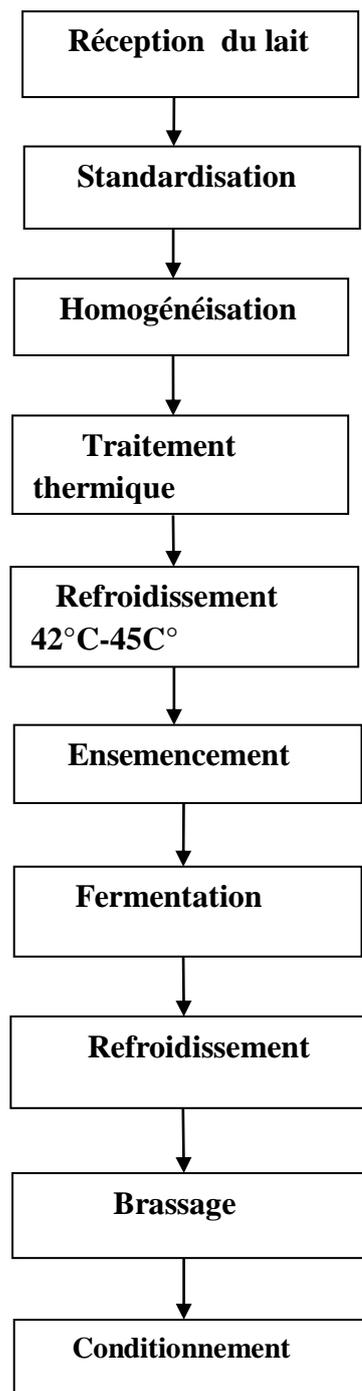
Anonyme 3, (2012) : [https://www.memoireonline.com/03/15/8988/m\\_Methode](https://www.memoireonline.com/03/15/8988/m_Methode)

# **Annexes**

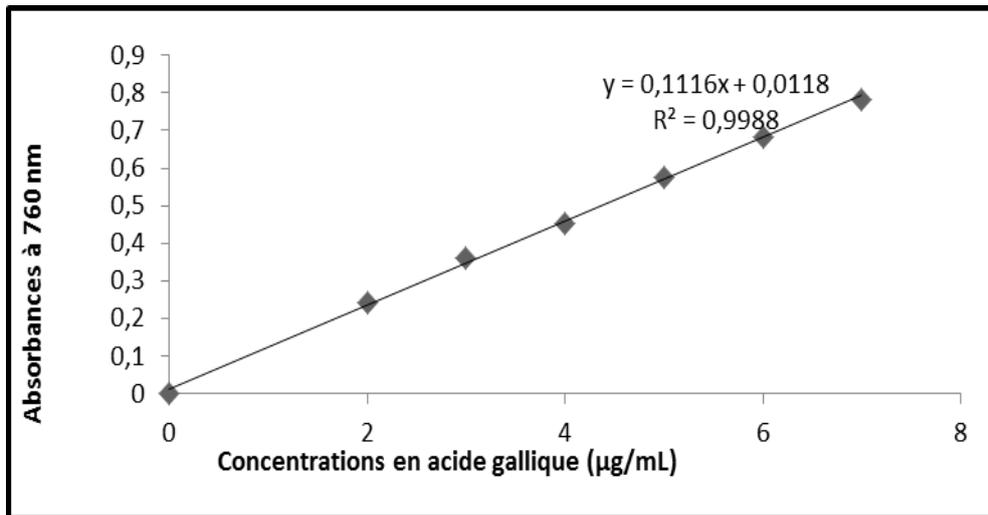
## Annexe I : Types du lait fermentés et leurs pays d'origine.

| Nom                  | Description   | Pays présumé d'origine | Ferments impliqués  |
|----------------------|---|------------------------|---|
| Yoghourt/ Yaourt     | Produit ferme ou brassé, arôme caractéristique  | Asie, Balkans          | <i>S. thermophilus</i> Lb.<br><i>Bulgaricus</i> (+ LB.<br><i>Acidophiles</i> , <i>Bifidobacterium</i> ssp.) |
| Lait à l'acidophilus | Produit ferme, brassé ou liquide, faible arôme.   | Etats-Unis             | <i>Lb. acidophilus</i>  |
| Kéfir                | Boisson brassé, consistance crémeuse, arôme et gout caractéristique (CO <sub>2</sub> )    | Caucase                | Lc. Lactis, Lc. Cremoris, Lb. Kéfir, Lb. Casei, <i>Lb. acidophilus</i> , Le                                 |
| Koumis               | Boisson pétillante, acide, gout rafraichissant et arôme caractéristique                   | Mongolie               | Lb. Bulgaricus, Lb. Acidophilus, levures  |
| Lassi                | Boisson laitière aigre diluée avec de l'eau, consommée sale, épicée ou sucrée             | Inde                   | Lactococcus ssp.<br>Lactobacillus ssp.<br>Leuconostoc ssp. Levures  |
| Dahi                 | Produit ferme ou brassé, ou boisson liquide, flaveur agréable, acide ou faiblement acide. | Inde                   | <i>S. thermophilus</i> , Lb. <i>Bulgaricus</i> , Lc. <i>Diacetylactis</i> , <i>Leuconostoc</i> ssp.         |
| Leben                | Produit ferme ou brassé, gout et arôme agréable.  | Moyen orient           | Lc. Lactis, Lc. Cremoris, Lc. <i>Diacetylactis</i> , Ln. Cremoris   |

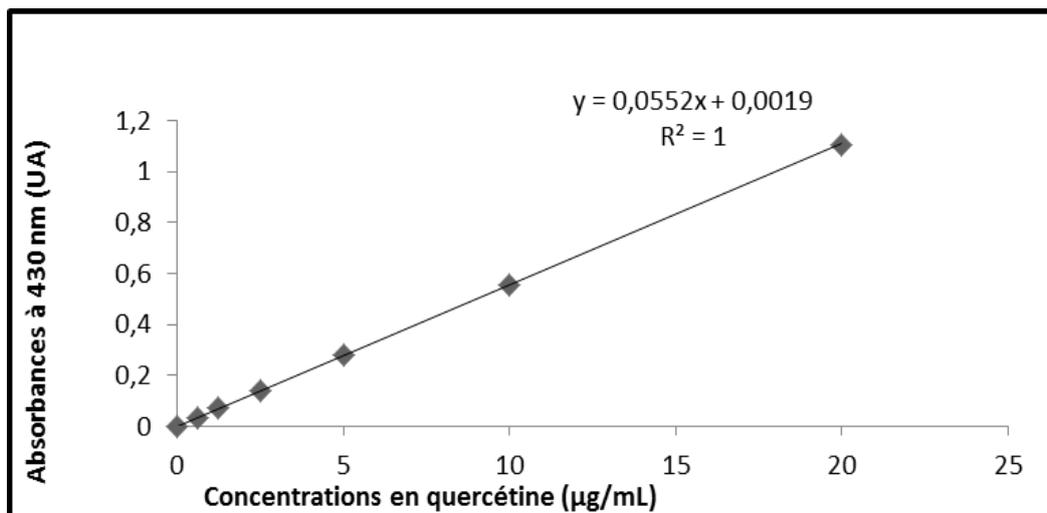
**Annexe II : Diagramme de fabrication du yaourt :**



**Annexe III** : Courbes d'étalonnage pour le dosage des composés phénoliques (polyphénols totaux et flavonoïdes).



**Annexe IV** : Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux.



**Annexe  
II.2 :**

Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes

### Annexe V : Questionnaire d'évaluation sensorielle de cinq échantillons du yaourt brassés

Age :

Sexe : féminin masculin 

date : .....

Trois échantillons du yaourt codés **A, B, C, D et E** vous sont présentés, il vous est demandé d'évaluer les différentes caractéristiques organoleptiques en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée.

**NB** : veuillez rincer votre bouche à chaque dégustation d'un échantillon.

#### **1 : Couleur :**

1 : Blanc

2 : Beige clair

3 : Beige

4 : vert clair

5 : vert

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

#### **2 : Odeur (sans gouter) :**

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

#### **3 : L'arome :**

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

#### **4 : Saveur :**

##### **a - L'arome :**

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

##### **b-Saveur sucrée :**

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

**b- saveur acide :**

- 1 : Absente  
 2 : Faible  
 3 : Moyenne  
 4 : Forte  
 5 : Très forte

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

**6 : Texture :****a-Texture en bouche :**

- 1 : Très granuleuse  
 2 : Granuleuse  
 3 : peu-  
granuleuse  
 4 : Lisse  
 5 : Très lisse

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

**b-Consistance :**

- 1 : Liquide  
 2 : trop mou  
 3 : mou  
 4 : Ferme  
 5 : Trop ferme

| Echantillon<br>A | Echantillon<br>B | Echantillon<br>C | Echantillon<br>D | Echantillon<br>D |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                  |                  |                  |                  |

**7 : Préférence globale :**

- 1 : Extrêmement désagréable  
 2 : Très désagréable  
 3 : Désagréable  
 4 : Assez désagréable  
 5 : Ni agréable ni désagréable  
 6 : Assez agréable  
 7 : Agréable  
 8 : Très agréable  
 9 : Extrêmement agréable

## Résumé

Dans la présente étude, les extraits d'épluchure de pomme de terre et des cladodes ont été étudiés pour optimiser les paramètres d'extraction des antioxydants (composés phénoliques) en utilisant le plan composite centrale. Les conditions expérimentales optimales permettant une maximisation de l'extraction des polyphénols des cladodes sont une concentration en éthanol de 40% (v/v) pour un temps 90 min avec un ratio de 1g/20 mL, pour les épluchures de la pomme de terre, elles sont de: le solvant (éthanol) à une concentration de 80% (v/v) pour un temps de 90 min avec un ratio 1g/30 mL. Une quantification des polyphénols (PPT) et des flavonoïdes totaux (FT) et une évaluation de l'activité antioxydante (pouvoir antiradicalaire et réducteur) des extraits ont été effectuées. L'extrait de cladodes a donné la teneur la plus faible avec une différence significative à  $P < 0,05$  en PPT (253,4mg EAG/g de MS). Cependant, l'extrait d'épluchures de la pomme de terre est plus riche en flavonoïdes (21,47 mg EQ/g de MS). L'extrait des épluchures de la pomme de terre a une meilleure activité réductrice de molybdate (10,65  $\mu\text{g/mL}$ ) et du radical DPPH $\cdot$  (179,75 $\mu\text{g/mL}$ ). Des formulations du yaourt ont été élaborées à basse de poudres et de morceaux séchés des échantillons étudiés. Les résultats d'analyses physico-chimiques sont conformes aux normes. Les yaourts enrichis ont révélé de meilleures teneurs en composés phénoliques et de meilleures activités antioxydants. En outre, le test de dégustation a permis de faire ressortir le classement de préférences où les yaourt enrichis par la poudre et les morceaux des épluchures de la pomme de terre sont en première position.

**Mots clés :** Optimisation ; extraction ; épluchure de pomme de terre ; cladodes ; polyphénols activité antioxydante; yaourt.

## Abstract

In the present study, potato peel and cladode extracts were studied to optimize the extraction parameters of antioxidants (phenolic compounds) using the central composite plane. The optimal experimental conditions allowing a maximization of the extraction of the polyphenols from the cladodes are an ethanol concentration of 40% (v/v) for a time of 90 min with a ratio of 1 g/20 mL, for the potato peels, they are: the solvent (ethanol) at a concentration of 80% (v/v) for a time of 90 min with a ratio of 1 g/30 mL. A quantification of a total phenolics (TPP) and flavonoids (TF) and an evaluation of the antioxidant activity (anti-radical and reducing power) of the extracts were carried out. Cladodes extract gave the lowest content with a significant difference at  $P < 0.05$  of TPP (253.4mg EAG / g DM). However, the potato peels extract is richer in flavonoids (21.47 mg EQ / g DM). The potato peel extract has better molybdate (10.65  $\mu\text{g} / \text{mL}$ ) and DPPH $\cdot$  radical reducing activity (179.75  $\mu\text{g} / \text{mL}$ ). Yogurt formulations were developed using low powders and dried pieces of the samples studied. The results of physico-chemical analyzes comply with standards. Fortified yogurts have shown better levels of phenolic compounds and better antioxidant activities. In addition, the taste test brought out the ranking of preferences where the yoghurt enriched with the powder and the pieces of the potato peels are in first position.

**Keywords :** Optimisation ; extraction ; potato peels ; cladodes; polyphenols ; antioxidant activity; yogurt.