

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 اوت 1955- سكيكدة
UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master
Filière : science biologie
Spécialité: microbiologie appliqué
Intitulé

Etude de l'impact de la microencapsulation par des cellules de levure sur les composés phénoliques et l'activité antioxydante du pissenlit (*Taraxacum officinale*)

Présenté Par : kerrou selma
Maoui imene
Ouar Nour el Houda

Membre de Jury:

Fekrache F (MCA)	Président	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Laib I(MCA)	Promoteur	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Bouzebda A(MCB)	Examineur	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout nous remercions Dieu tout puissant qui nous donne la force, le courage, la volonté, la patience et les moyens de pouvoir accomplir ce travail. Nous voudrions témoigner de nos remerciements et nos gratitude à nous promotrice **Dr Laib Imene.** , pour la confiance qu'il nous a accordée, son assistance, sa disponibilité, sa compréhension et ses conseils qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier les membres du jury : **Dr Fekrache** qui nous a fait l'honneur par sa présence en qualité de président et **Dr Bouzebda** pour avoir accepté d'examiner ce travail. Nous tenons à demander tout particulièrement à tous les membres du laboratoire pour le temps qu'il a attribué à nous assister dans nos travaux. Nous exprimons notre très grande considération, et notre profond respect à tous les enseignants de la promotion master, **2022-2023** qu'ils trouvent ici le témoignage de notre sincère reconnaissance, pour leurs apports très constructifs.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de la présente étude.

Dédicace :

À la source inépuisable de la généreuse, à celle qui a tissé ma joie avec des fils tissés de son cœur, à la signification de l'amour, à la signification de la tendresse et du dévouement, à celle dont la guérison est le secret de ma réussite et le baume de mes blessures, à **ma chère mère**.

À celui qui a travaillé dur et s'est efforcé de me procurer le confort et le bonheur sans rien ménager pour me pousser vers le chemin du succès, celui qui m'a appris à gravir les échelons de la vie avec sagesse et patience, à **mon cher père**.

À **mon cher oncle et ma grand père**, qu'Allah prolonge sa vie et le préserve, À ceux que j'aime et dont le souvenir résonne dans mes veines, à mon cher frère "**Abdelali**" et à mes sœurs **Iman, bessma, Nada, et Maryam**, qu'Allah prolonge leurs vies.

À celui qui a partagé avec moi les joies et les peines de la vie, et qui a élevé mon moral, mon cher mari "**Taleb** ", que Dieu prolonge sa vie Et à mes amies : **selsabile, ikram, asma, sana etchaima** qui ont été un soutien précieux tout au long de mon parcours scolaire, et à mes collègues de travail, **Nour el Houda et Iman**.

Selma kerrout

Dédicace :

Avec énorme plaisir, un cœur ouvert et une joie immense que je dédie humblement ce travail à ma précieuse maman **Djamila**, Je souhaite également remercier mon père, **Abde Al Aziz**, qui a sacrifié sa vie pour me voir devenir ce que je suis aujourd'hui. Il a été le premier à m'encourager à poursuivre mes études aussi loin. Merci papa.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers mon frère **Islam**, mes sœurs **Sarra** et **Rania**, ainsi que **Salsabil** pour leur soutien.

Je voudrais également remercier mon fiancé, **Amer**, qui a été un pilier essentiel à mes côtés pendant cette période, ainsi que sa **mère** pour ses prières constantes.

Je suis reconnaissant envers tous mes amis et ma famille, sans exception. Et mes binômes, **Selma** et **Nour**.

MAOUI IMENE

Dédicace

Je dédie les fruits de mes efforts à celle qui m'a porté, protégé et donné la vie, celle qui m'a entouré de sa tendresse, **ma chère mère** qui s'est assurée de mon éducation avec patience et a fait des sacrifices pour mon succès.

À **mon cher père** qui m'a soutenu tout au long de mon parcours scolaire, depuis mes premiers pas jusqu'à l'école.

À mes grands-parents qui m'ont soutenu par leurs prières, que Dieu les préserve dans leur vie.

À mes frères **Fayssal et Mouad**, et à mes sœurs **Asmaa, Sara** et ma petite sœur **Malek**.

Tous mes oncles et tantes.

Et à tous mes **cousins et cousines**. Je dédie également mon humble travail à toutes **mes amies**, en particulier à mon amie **Marwa et son petit ange Anas**.

Et à mes collègues de travail **Selma et Imene**.

Nour El Houda

Sommaire

Remercîment

Dédicace

Résumé

Liste de l'abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre1 : pissenlit

1 - Description botanique de la plante	3
1-1 origine du nom	3
1-2 Description et caractéristiques	3
2 - Classification botanique	4
3 - Répartition géographique.....	5
4 - Composition chimique	5
4-1 Autres constituants	7
6 - Utilisation du pissenlit	7
5-1 Utilisation thérapeutique.....	7
5-2 Utilisation culinaire	7
6- Toxicités	7

Chapitre 2 : les polyphénols

1 - Généralité	8
2 - Classification des polyphénols.....	8
3 - Propriétés chimiques des composés phénoliques.....	10
3-1 Nucléophilie	10
3-2 Chélation des ions métalliques	10
3-3 Propriétés réductrices	10
3-4 Polarisabilité	10
4 - Localisation des polyphénols dans la plante.....	11
5 - Biosynthèses des produits phénoliques	12
5-1 La voie de l'acide malonique	12
5-2 La voie de Shikimate	12
5-3 La voie des phénylpropanoïdes	13
6 - Activité biologique des polyphénols	14
6-1 Activité antioxydante des polyphénols.....	14
6-1-1 Piégeage des radicaux libres	14

6-1-2Chélation des ions métalliques	15
6-1-3Inhibition enzymatique	16
6-2 Autres activités biologiques des polyphénols	16
7-Les facteurs qui influencent les polyphénols.....	17

Chapitre 3 : la microencapsulation

1- Généralité	18
2 -Historique	18
3- Objectifs de l'encapsulation	19
3-1 Isolement	19
3-2 Protection.....	19
3-3Vectoriser.....	20
3-4Contrôler la libération	20
3-5 Structurer	20
4 Procédés de microencapsulation	21
4-2 Les méthodes chimiques	21
4-2-1Polycondensation interfaciale en émulsion	21
4-2-2Polymérisation en milieu dispersé	21
4-3 Les méthodes physico-chimiques	21
4-3-1 La coacervation simple	21
4-3-2La coacervation complexe	21
4-3-3Gélification thermique d'émulsion	22
4-3-4Evaporation/extraction de solvant en émulsion simple	22
5-L'encapsulation dans les cellules de levure.....	23
6- Spécificités des capsules de levure	23
7 -Applications	24

Matériel et méthode

1. Matériel végétal	25
2. Microencapsulation des extraits de pissenlit dans les cellules de levure.....	25
3. Encapsulation des extraits de pissenlit par des cellules de levure.....	26
Caractérisation des microcapsules de cellules de levure chargées des extraits	26
Efficacité d'encapsulation	26
4. Dosage des polyphénols totaux	26
5. Dosage des flavonoïdes	27
6. Dosage tanins	27
7. Analyse par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) en Réflexion Totale Atténuée (ATR) des Extraits de pissenlit Avant et Après encapsulation	27
8. Evaluation de l'effet de la microencapsulation sur l'activité antioxydante des extraits de pissenlit	28
8.1. Méthode DPPH.....	28
8.2. Méthode ABTS.....	28
9. Analyse statistique	29

Résultats et discussion

1. Teneur en composés phénoliques des feuilles fraîches du pissenlit.....	30
2. Analyse FTIR.....	35
3. Effet de la microencapsulation sur de l'activité antioxydante	37
Conclusion	39

Résumé

L'objectif de cette étude était de tester les effets de la microencapsulation à l'aide de cellules de levure *Saccharomyces cerevisiae* (intactes et plasmolysées) sur les composés phénoliques et l'activité antioxydante du pissenlit (*Taraxacum officinale*). Nous avons examiné l'impact de l'encapsulation sur l'activité antioxydante en utilisant des méthodes spectrophotométriques, et nous avons réalisé une analyse FTIR pour étudier les variations des liaisons et des interactions entre la levure et les extraits. L'activité antioxydante avant et après l'encapsulation a été évaluée à l'aide de deux méthodes, le **DPPH** et l'**ABTS**. Les résultats ont montré que l'encapsulation a entraîné une diminution de la concentration des composés phénoliques. Les cellules de levure plasmolysées ont présenté une rétention accrue des polyphénols totaux par rapport aux cellules intactes, tandis que les cellules intactes ont mieux conservé les flavonoïdes et les tanins. L'analyse **FTIR** a révélé une interaction entre les composés phénoliques et la levure. En ce qui concerne l'activité antioxydante, la méthode DPPH a révélé une diminution de cette activité suite à l'encapsulation, tandis que la méthode ABTS a montré une augmentation de l'activité antioxydante. Ces résultats préliminaires fournissent des indications pour orienter les futures analyses visant à optimiser les niveaux de composés phénoliques et leurs activités biologiques.

Mots clés : *Taraxacum officinale*, Microencapsulation, polyphénols, levure *Saccharomyces cerevisiae*.

المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار تأثير التجليد المجهري باستخدام خلايا الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* (Saccharomyces cerevisiae) لمضاد للأكسدة في نبات الهندباء (*Taraxacum officinale*) النشاط المضاد للأكسدة باستخدام طرق القياس لطيفي، وقمنا بإجراء تحليل FTIR لدراسة التغيرات في الروابط والتفاعلات بين الخميرة والمستخلصات . تم تقدير النشاط المضاد للأكسدة قبل وبعد التجليد باستخدام طريقتين، DPPH و AB TS. أظهرت النتائج أن التجليد أدى إلى انخفاض في تركيز المركبات الفينولية. أظهرت الخلايا الغير سليمة للخميرة احتفاظاً متزايداً بالبوليفينولات الكلية مقارنةً بالخلايا السليمة، بينما حافظت الخلايا السليمة على الفلافونويدات و لتانينات بشكل أفضل. كشف تحليل FTIR عن تفاعل بين المركبات الفينولية والخميرة .بالنسبة للنشاط المضاد للأكسدة، أظهرت طريقة DPPH انخفاضاً في هذا النشاط بعد التجليد، في حين أظهرت طريقة ABTS زيادة في النشاط المضاد للأكسدة .توفر هذه النتائج الأولية مؤشرات لتوجيه التحاليل المستقبلية لتحسين مستويات المركبات الفينولية وأنشطتها البيولوجية.

Summary :

The aim of this study was to test the effects of microencapsulation using intact and plasmolyzed *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells on the phenolic compounds and antioxidant activity of dandelion (*Taraxacum officinale*). We examined the impact of encapsulation on antioxidant activity using spectrophotometric methods, and conducted FTIR analysis to study variations in bonds and interactions between the yeast and extracts. Antioxidant activity before and after encapsulation was evaluated using two methods, DPPH and ABTS. The results showed that encapsulation led to a decrease in the concentration of phenolic compounds. Plasmolyzed yeast cells exhibited increased retention of total polyphenols compared to intact cells, while intact cells better preserved flavonoids and tannins. FTIR analysis revealed an interaction between phenolic compounds and yeast. Regarding antioxidant activity, the DPPH method showed a decrease in activity following encapsulation, while the ABTS method demonstrated an increase in antioxidant activity. These preliminary results provide insights to guide future analyses aiming to optimize levels of phenolic compounds and their biological activities.

Keywords: *Taraxacum officinale*, Microencapsulation, polyphenols, *Saccharomyces cerevisiae* yeast.

Liste de l'abréviation

Liste de l'abréviation:

FTIR : La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier .

UV : Ultra violet.

L'acétyl-CoA :L'acétyl-coenzyme A.

p-coumarique :acide parahydroxycinnamique .

EE : L'efficacité d'encapsulation .

TPE : correspond à la concentration totale de polyphénols, flavonoïdes et tanins encapsulés .

TPT : désigne la concentration de composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes et tanins) de l'extrait non encapsulé .

ATR : Réflexion Totale Atténuée .

DPPH : 2,2 diphényl)2) picrylhydrazyle .

ABTS : 2 ;2 azino bis (3)ethylbenzothiazoline)6)sulphonic acid) .

HPLC :romatographie en phase liquide haute performance ou haute pression.

ANOVA : Analyse de la variance .

Liste des Figures

Listes des figures :

Figure 01 : La structure morphologique de la plante <i>Taraxacum officinale</i> :(a : les fleurs), (b : les graines), (c : les feuilles), (d : les racines), (e : plante pissenlit)	4
Figure02 : Répartition du <i>Taraxacum officinale</i> dans le monde	5
Figure 03 : La classification des polyphénols	9
Figure04 : Localisation des composés phénoliques au niveau de la cellule	12
Figure05 : Voies de biosynthèse des polyphénols.....	13
Figure 06 :Mécanisme d'action des antioxydants phénolique	14
Figure07 : Les flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques	16
Figure 08 : Evolution du nombre d'articles scientifiques et de brevets publiés par année dans le domaine de la microencapsulation	22
Figure09 : Courbes d'étalonnage : 1 : Acide gallique, 2 : quercétine, 3 : Acide tannique	34
Figure10 : diagramme la teneur totale du composés phénoliques (1 :polyphénols totaux, 2 :flavonoïdes et 3 !tanin	35
Figure11 : l'analyse du FRTIR.....	39

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nom et localisation du quelque composant du <i>Taraxacum officinale</i>	6
Tableau2 : Efficacité de l'encapsulation	37
Tableau3 : valeur d'IC5(mg/ml)	41

Introduction

Introduction

Introduction

Le pissenlit (*Taraxacum officinale*) est une plante herbacée vivace de la famille des Astéracées qui se distingue parmi de nombreuses espèces. Originaire d'Asie centrale, le pissenlit est désormais répandu dans le monde entier. Bien plus qu'une simple mauvaise herbe de jardin, le pissenlit est utilisé depuis des siècles dans la médecine traditionnelle, les remèdes ethnomédicaux et les thérapies alternatives. Cette plante présente une richesse en composés phénoliques, ce qui lui confère une multitude de propriétés bénéfiques pour la santé (**Yanni et al.,2022**).

Les propriétés du pissenlit comprennent des effets anti-inflammatoires, antirhumatismaux, antioxydants, anticancérigènes, diurétiques, cholérétiques, laxatifs et hypoglycémiants. Ces attributs thérapeutiques en font un ingrédient précieux dans divers traitements, allant des troubles gastro-intestinaux aux affections plus complexes. De nos jours, le pissenlit est également utilisé pour la fabrication de nombreux produits de santé destinés à exploiter ses propriétés bénéfiques (**Malgorzata et Justyna,2022**).

Cependant, l'utilisation pratique des polyphénols présents dans le pissenlit est souvent limitée en raison de leur instabilité et de leur faible biodisponibilité(**Bao et al.,2013**). Pour pallier ces limitations, l'encapsulation des polyphénols dans des cellules de levure se présente comme une solution prometteuse. Cette approche innovante consiste à intégrer les composés bioactifs à l'intérieur des cellules de levure, créant ainsi une structure protectrice qui préserve leur intégrité et leur potentiel thérapeutique(**Zhongxiang et Bhesh ,2010**).

En encapsulant les polyphénols du pissenlit dans des cellules de levure, on améliore leur stabilité, leur solubilité et leur biodisponibilité. Les cellules de levure fonctionnent comme des "usines cellulaires" capables de produire et de libérer de manière contrôlée les polyphénols, offrant ainsi une méthode efficace pour profiter de leurs bienfaits pour la santé. Cette technologie ouvre de nouvelles perspectives dans le développement de produits alimentaires fonctionnels et de compléments alimentaires, offrant des alternatives pratiques pour bénéficier des propriétés thérapeutiques du pissenlit(**Giulia et Nicola ,2021**).

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est d'évaluer l'impact de la microencapsulation par des cellules de levure sur les composés phénoliques et l'activité antioxydante du pissenlit (*Taraxacum officinale*). Le présent travail est structuré en deux parties distinctes :

La première partie est consacrée à la revue de la littérature et se compose de trois chapitres. Le premier chapitre fournit une vue d'ensemble de la nature et de la structure des polyphénols, ainsi que de leurs effets antioxydants, à travers une étude bibliographique approfondie. Le deuxième chapitre aborde spécifiquement le pissenlit et ses bienfaits pour la santé. Enfin, le troisième chapitre

Introduction

présente les différentes méthodes d'encapsulation, notamment l'encapsulation dans des cellules de levure.

La seconde partie décrit l'approche expérimentale adoptée dans cette étude. Elle comprend une présentation détaillée de la technique d'encapsulation utilisée, ainsi que des méthodes de dosage des composés phénoliques, de l'analyse **FTIR** et de l'évaluation de l'activité antioxydante.

Synthèse bibliographique

Chapitre1 : pissenlit

1 - Description botanique de la plante

1-1 origine du nom

L'origine du nom *Taraxacum* est incertaine, mais des chercheurs tels que **Holm (1997)**, **Jenniskens (1984)** et **Mitich (1989)** ont étudié les différentes sources possibles. On pense que *Taraxacum* provient du nom arabe du pissenlit, "tarachakum" (signifiant cerise sauvage), "tarakhshaqun" (signifiant chicorée sauvage), "tharachsachakuh", "talkhchakok" ou "tarashqun" signifiant "herbe amère" (**Stewart-wade, 2023**).

Une autre explication suggère que le nom aurait été dérivé des termes grecs "tar axis" (one maladies de l'œil), "tarassen" ou "tarasos" (signifiant trouble), "trogimon" (signifiant comestible) et "akeomai" ou "akos" (signifiant guérir ou remède). Quant à "officinale", il signifie médicinal ou capable de produire un médicament (**Schmidt. 1979**), ou "des boutiques", indiquant qu'il était vendu comme remède pour les maladies de l'homme (**Stewart-wade, 2023**).

1-2 Description et caractéristiques

Les *Taraxacum* sont des plantes herbacées vivaces, caractérisées par une racine pivotante, originaires des zones tempérées de l'hémisphère Nord. Elles présentent des feuilles lobées qui forment une rosette basale au-dessus de leur racine pivotante centrale. La racine peut atteindre une profondeur de 2 mètres et une largeur de 2 centimètres. Lorsqu'on les brise, les tiges et les feuilles du pissenlit libèrent un latex blanc et laiteux. Les têtes florales, qui sont jaunes à orange, s'ouvrent pendant la journée et ont un diamètre de 2 à 5 centimètres. Elles sont portées individuellement sur des tiges creuses qui s'élèvent de 1 à 10 centimètres au-dessus des feuilles (**Figure1**). La tête florale est exclusivement composée de fleurons en rayons. Les graines matures, appelées akènes, sont accompagnées d'un pappus, une structure fine ressemblant à des poils, qui facilite leur dispersion par le vent sur de longues distances. Il arrive parfois que les têtes florales et les graines mûres du pissenlit soient confondues avec celles de la bardane (**Barajaktaet al., 2021**).

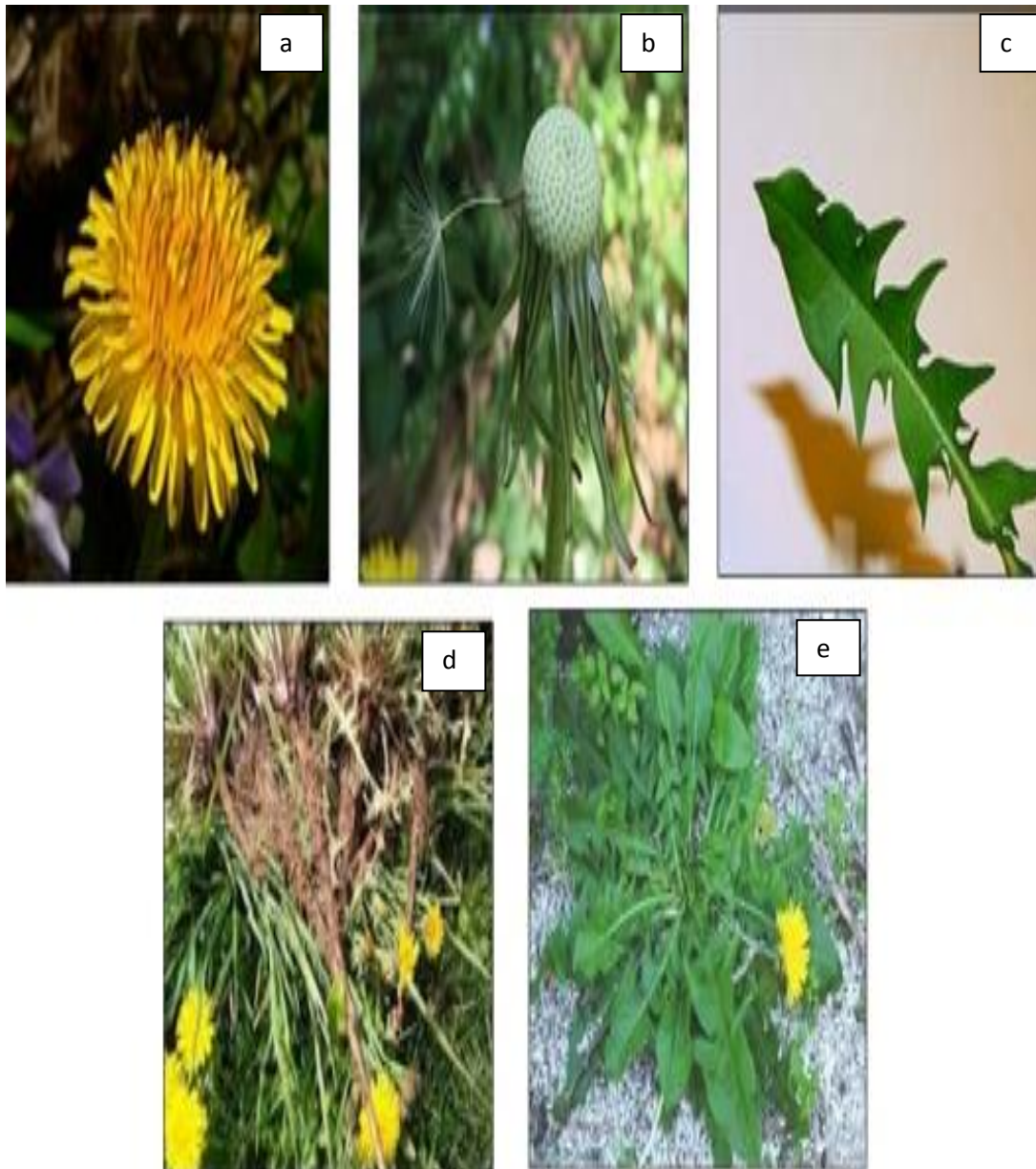


Figure 1 : La structure morphologique de la plante *Taraxacum officinale* :

(a : les fleurs), (b : les graines), (c : les feuilles), (d : les racines), (e : plante pissenlit) (**Barajaktaet al., 2021**).

2 - Classification botanique

La Classification du pissenlit selon l'APG IV :

- Clade : Angiosperme
- Clade de range 1 : Aicotylédones vraies
- Clade de range 3 : Super astéridées
- Clade de range 4: Astéridaées
- Clade de range 5 : Campanulidées
- Ordre : Asterales
- Famille : Asteracées

- Genre : *Taraxacum*
- Espèce: *Taraxacum officinale* (Bekhaled, 2021).

3 - Répartition géographique

La répartition géographique du pissenlit est très étendue, et cette plante comestible et médicinale peut être trouvée tout au long de l'année dans de nombreuses régions du monde (Figure 2). Elle est largement diffusée en Europe, en Sibérie, en Amérique du Nord et du Sud, au Japon, en Asie et en Afrique du Nord (Bekhaled, 2021).



Figure 2: Répartition du *Taraxacum officinale* dans le monde (Babaaisa, 2011).

4 - Composition chimique

Le pissenlit est une plante dont la composition comprend une variété de sels minéraux tels que le calcium, le fer, le soufre, le manganèse, le magnésium, le phosphore ainsi que de nombreux sels potassiques. Elle est également riche en vitamines A (plus que la carotte), B, C, D et E, en glucosides amers, en caroténoïdes, en flavonoïdes et en fibres. Les fleurs de la plante contiennent de la lécithine, tandis que la racine renferme des glucosides amers, de la taraxacine, des phytostérols, des mucilages, des tanins, de l'asparagine et accumule de l'inuline. De plus, la plante contient des lactones sesquiterpéniques telles que la taraxacine, la taraxacérine et la lactucopicrine, qui appartiennent au groupe des eudesmanolides et germacrénolides (Morales, 2021).

Tableau 1 : Nom et localisation du quelque composant du *Taraxacum officinale*.

composition	exemple	partie	référence
Lactones sesquiterpéniques	lataraxacine l'acidetaraxinique lalactucopricine lalactucine la cichorine	racines	(Kisiel et Barszcz, 2000), (Parajaktaet al., 2021)
Flavonoïdes	-7-o-glucoside de lutéoline -7-orutinoside de lutéoline -3-o-glucoside de l'isorhamnétine -7-o-glucoside de l'apigénine	feuilles	(Kashiwadaet al., 2001), (Virginia et al., 2022),(Rong et al., 2023)
Les vitamines et les minéraux	Les vitamines a b et c . Le fer , le zinc ,calicium,le potassium et le bore.	feuilles	(Benabdejlilet al., 2018)
Triterpènes	otaraxasérol taraxasérol	les racines	(junget al., 2022), (djabborove et jabbrova , 2022)

4-1 Autres constituants

Le pissenlit contient divers composés tels que des caroténoïdes (lutéine, violaxanthine), des coumarines (esculine, scopoletine), la lettucénine A, la taraxalysine (une sérine protéinase), des acides aminés, de la choline, du mucilage et de la pectine (Parajaktaet al., 2021) .

6 - Utilisation du pissenlit

5-1 Utilisation thérapeutique

Le pissenlit est une plante qui possède plusieurs propriétés bénéfiques pour la santé, notamment des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires antidiabétiques (**Bekhaled 2022, jassalet., al2015**) De plus, grâce à ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, le pissenlit offre des effets hépatoprotecteurs contre les agents chimiques (**Mohaddesse et Mahboubi, 2019**).

Depuis des temps anciens, le pissenlit (*Taraxacum*) est utilisé de manière traditionnelle pour le traitement des affections hépatiques, et il a également démontré une activité antibactérienne (**Fonyiyet al., 2016**).

5-2 Utilisation culinaire

Les fleurs, les feuilles et les racines du pissenlit sont toutes exploitées comme sources alimentaires. Les feuilles, qu'elles sont issues de variétés sauvages ou cultivées, sont couramment consommées fraîches en salade et ajoutent une saveur délicate à une variété de plats tels que les sandwichs et les thés. Le thé préparé à partir des feuilles a également un effet laxatif. Les racines de pissenlit, connues sous le nom de Taraxaciradix, sont torréfiées et utilisées en guise de substitut de café (**Grausoet al., 2019**).

6- Toxicités

Le pissenlit est peu toxique en raison de l'absence de toxines et d'alcaloïdes dans ses constituants (**Seoet al., 2005**). Des études menées sur des lapins, des souris et des rats ont montré que les lapins traités par voie orale avec des plantes de pissenlit séchées (3 à 6 g/kg de poids) et les souris traitées avec des extraits éthanoliques de pissenlit ne présentaient aucun signe significatif ou visible de toxicité. Cependant, les personnes sensibles peuvent avoir des réactions allergiques. Les composants les plus allergènes du pissenlit sont l'acide taraxinique et la lactone de sesquiterpène, qui peuvent provoquer une dermatite de contact allergique et des réactions chez les personnes sensibles (**Wirngoet al., 2016**).

Chapitre II : les polyphénols

1 - Généralité

La remarquable capacité des plantes à synthétiser une vaste gamme de substances naturelles, telles que les alcaloïdes, les terpénoïdes et les composés phénoliques, est une caractéristique singulière qui les distingue. Bien que la fonction physiologique de nombreux métabolites secondaires reste partiellement comprise, ces molécules représentent une précieuse source utilisable dans divers domaines tels que la pharmacologie et l'agroalimentaire.

Les plantes répartissent ces métabolites secondaires de manière variée, avec des niveaux d'accumulation qui varient tant qualitativement que quantitativement. Parmi ces métabolites, les composés phénoliques, également appelés polyphénols, se démarquent en tant que groupe significatif de molécules chimiques (Macheix *et al.*, 2005).

2 - Classification des polyphénols

Les composés phénoliques comprennent une grande variété de molécules ayant une structure polyphénolique (c'est-à-dire plusieurs groupes hydroxyle sur des cycles aromatiques), mais aussi des molécules avec un seul cycle phénolique, comme les acides phénoliques et les alcools phénoliques. Les polyphénols sont divisés en plusieurs classes en fonction du nombre de cycles phénoliques qu'ils contiennent et des éléments structurels qui relient ces cycles les uns aux autres. Les principales groupes de polyphénols (**figure 1**) sont: les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tanins (hydrolysables et condensés), les stilbènes et les lignanes (D'Archivio *et al.*, 2007).

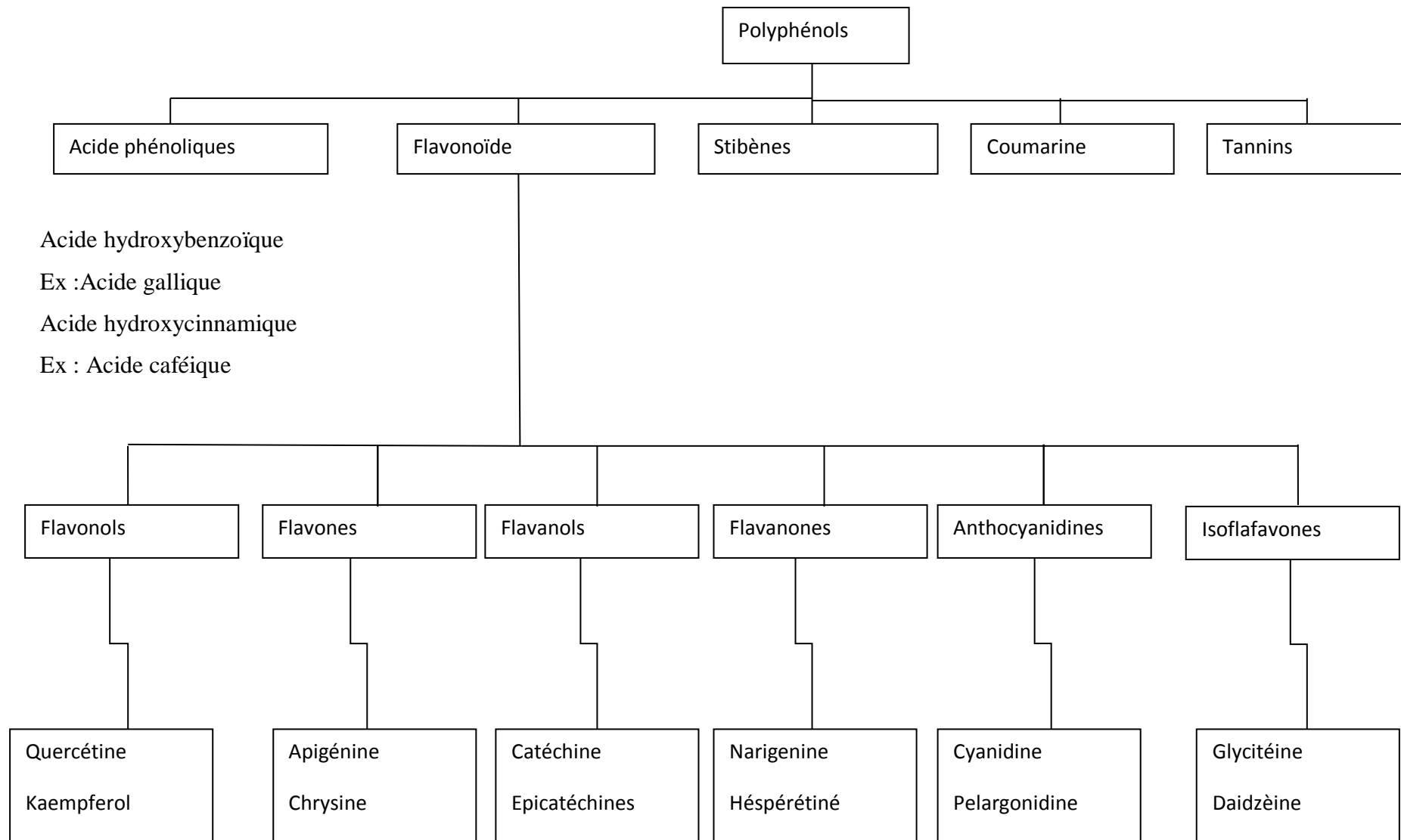


Figure 3:La classification des polyphénols (kumaret al., 2019).

3- Propriétés chimiques des composés phénoliques

La compréhension des propriétés chimiques des composés phénoliques est essentielle pour interpréter leurs propriétés biologiques. De plus, les propriétés chimiques sont toujours utilisées dans l'étude des produits naturels pour identifier les chromatogrammes et quantifier ces substances (**Ribéreau-Gayon, 1968**), ainsi que pour interpréter leur impact sur la santé humaine. Les principales caractéristiques de ces composés sont décrites ci-dessous :

3-1 Nucléophilie

Les composés phénoliques ont une nucléophilie portée par l'atome d'oxygène et les atomes de carbone situés en position ortho et par rapport au groupe OH. Cette propriété permet leur participation aux réactions de substitutions électrophiles aromatiques (**Nkhili, 2009**). Cette nucléophilie représente une perspective prometteuse pour étudier les effets des polyphénols sur la santé. Les polyphénols pourraient en effet participer à la régulation de l'expression des gènes, éventuellement en interagissant directement avec des récepteurs et des facteurs nucléaires (**Dangles, 2006**).

3-2 Chélation des ions métalliques

Certains polyphénols courants dans les plantes et l'alimentation ont une capacité de chélation élevée des ions métalliques, ce qui peut être crucial dans la prévention de la production de radicaux libres qui endommagent les biomolécules cibles (**Nkhili, 2009**). Les polyphénols contenant des groupements 1,2-dihydroxy, α -hydroxycéto ou β -hydroxycéto peuvent former des complexes de chélation avec des ions métalliques tels que Fe^{3+} et Al^{3+} (**Dangles, 2006**).

3-3 Propriétés réductrices

Les groupements donneurs d'électrons substitués sur un composé aromatique indiquent son potentiel d'ionisation et augmentent son caractère réducteur. Cela peut entraîner une oxydation mono-électronique conduisant à la formation d'un radical correspondant. Les polyphénols, en particulier les flavonoïdes, ont un faible potentiel redox, ce qui leur permet thermodynamiquement de réduire rapidement les radicaux superoxydes, peroxydes (ROO^\cdot), alkoxydes (RO^\cdot) et les hydroxydes par transfert d'hydrogène (**Nkhili, 2009**). Les antioxydants sont interdépendants car, en donnant un électron, ils deviennent eux-mêmes des radicaux libres qui doivent être réduits, c'est-à-dire rééquilibrés.

3-4 Polarisabilité

La complexation moléculaire des phénols dans l'eau est principalement due à la combinaison des interactions de dispersion et de l'effet hydrophobe. Les phénols, ayant une polarisabilité élevée, sont capables de développer des interactions moléculaires fortes de dispersion avec d'autres composés polarisables (qui sont les composants attractifs des interactions de Van der Waals). En solution aqueuse, l'effet hydrophobe favorise l'interaction entre le noyau benzénique apolaire du

phénol et une autre entité polarisable telle qu'un second cycle aromatique **Nkhili(2009)**, **Boubekri(2014)**.

4 - Localisation des polyphénols dans la plante

Les composés phénoliques sont distribués principalement dans deux compartiments cellulaires, les vacuoles et la paroi. Les polyphénols sont conjugués avec des sucres ou des acides organiques dans les vacuoles pour augmenter leur solubilité et réduire leur toxicité. En ce qui concerne la paroi, elle contient principalement de la lignine et des flavonoïdes qui sont liés aux structures pariétales. La synthèse des composés phénoliques se produit dans le cytosol et certaines enzymes impliquées dans la biosynthèse des phénylpropanoïdes sont liées aux membranes du réticulum endoplasmique et organisées en métabolons (**Bènard, 2009**).

La localisation des polyphénols au niveau tissulaire est étroitement liée à leur rôle dans la plante et peut être hautement caractéristique. À l'intérieur des feuilles, la distribution des composés est variable. Par exemple, les anthocyanes et les flavonoïdes sont principalement présents dans l'épiderme. Au niveau de la plante entière, il est important de noter que certains composés ne s'accumulent que dans des organes spécifiques(Figure 3). Dans le cas de la pomme, les composés phénoliques interviennent dans la coloration de la peau (**Bènard, 2009**).

Les composés phénoliques ont une importance significative dans le métabolisme des plantes, mais ils peuvent également interagir avec leur environnement biologique et physique, en établissant des relations avec les bactéries, les champignons, les insectes et en résistant aux rayons UV. Toutes les classes de composés phénoliques sont impliquées dans les mécanismes de résistance (**Dicko,2006**) et jouent un rôle clé dans la communication entre les cellules, les plantes, ainsi qu'entre les plantes et les animaux (**Robert,2000**) .

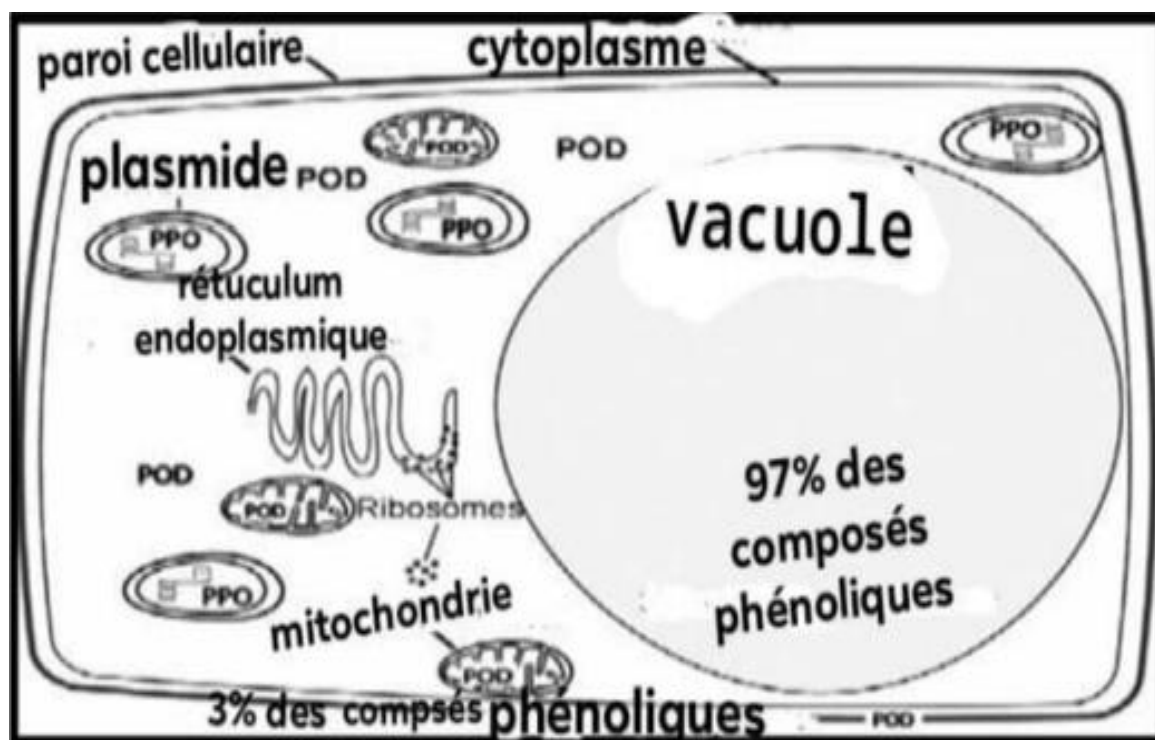


Figure 3: Localisation des composés phénoliques au niveau de la cellule (Toivonen et Brummell, 2004).

5 - Biosynthèses des produits phénoliques

Les polyphénols sont synthétisés par des voies métaboliques principales :

5-1 La voie de l'acide malonique

La voie métabolique en question ne conduit qu'à la production limitée d'acides phénoliques. Elle implique la purification de l'**acétyl-CoA**, qui est un produit résultant des processus cataboliques de la glycolyse et de la β -oxydation, avec le malonate. Cette voie est responsable de la cyclisation des chaînes polycétoniques, qui sont obtenues par la répétition de la condensation d'unités « Acétate », via la carboxylation de l'acétyl-CoA. L'enzyme responsable de cette réaction est l'acétylCoA carboxylase (Merlin, 2015).

5-2 La voie de Shikimate

La voie Shikimate est la source directe de la plupart des polyphénols (ColinetCrouzet, 2011). Dans des conditions de croissance normales, environ 20 % du carbone capté par les plantes est utilisé dans la voie du shikimate. Cette voie métabolique repose sur le transfert des glucides à la biosynthèse des composés aromatiques en permettant la formation de la structure de base, le noyau aromatique.

Au cours d'une série de sept étapes métaboliques (Figure 4), le phosphoénolpyruvate (un intermédiaire de la glycolyse) et l'érythrose-4-phosphate (un intermédiaire de la voie des pentoses phosphates) sont transformés en chorismate, qui est le précurseur des acides aminés aromatiques. Ces acides aminés sont à l'origine des composés phénoliques (C6-C1), tels que les tanins

hydrolysables et la chalcone, qui est la molécule de base de tous les flavonoïdes et tanins condensés (Dewick, 1995).

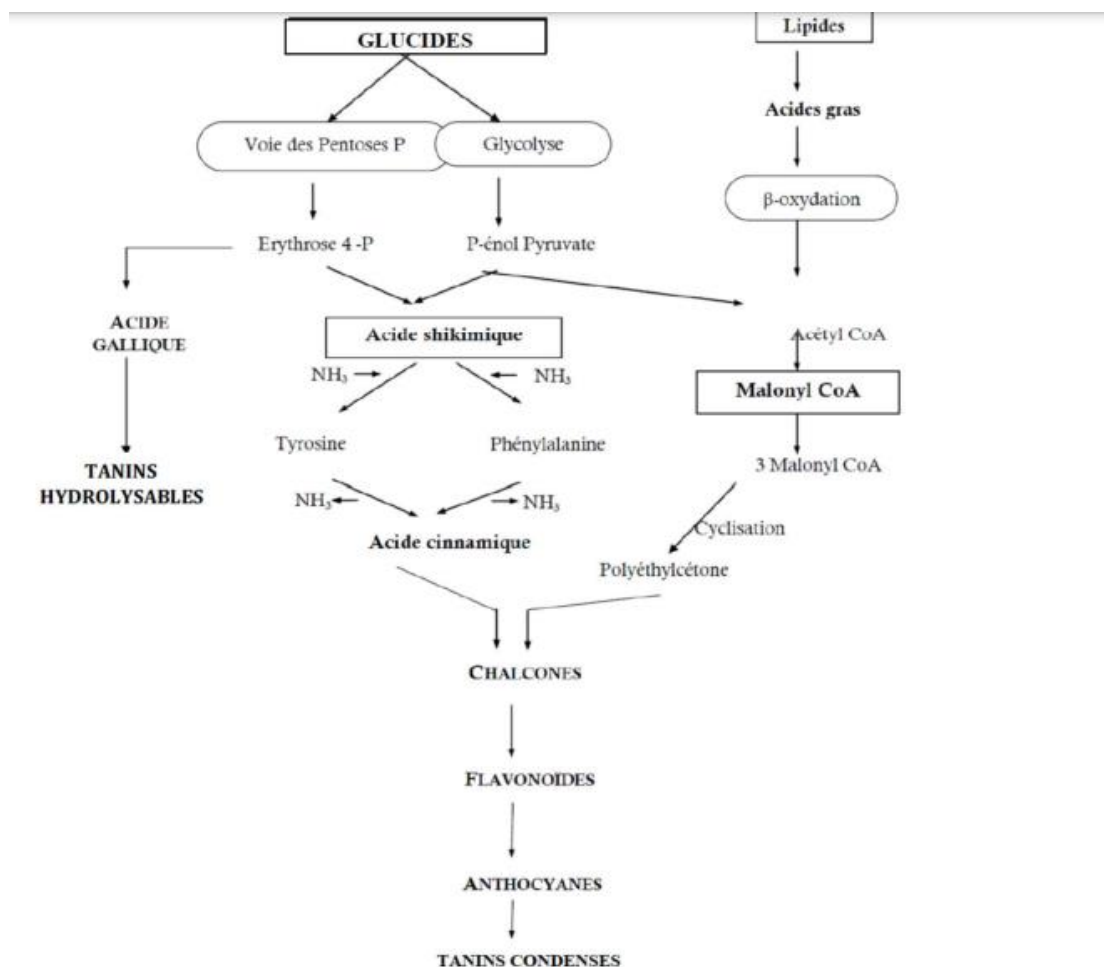


Figure4:Voies de biosynthèse des polyphénols (Chaouch, 2014).

5-3La voie des phénylpropanoïdes

Même si diverses voies peuvent être empruntées pour les différents types de composés tels que les alcaloïdes et les coumarines, la première étape cruciale de la biosynthèse de la plupart des composés phénoliques naturels est la désamination de la phénylalanine. Cette réaction produit de l'acide cinnamique, une molécule qui n'est pas encore phénolique mais qui est essentielle pour initier la séquence biosynthétique, également appelée voie des phénylpropanoïdes. Cette voie repose sur le produit primaire du shikimate au produit secondaire des phénylpropanoïdes, en conduisant directement à la formation des acides hydroxycinnamique, **p-coumarique**, caféique, férulique et sinapique (Bruneton, 2009).

6 - Activité biologique des polyphénols

6-1 Activité antioxydante des polyphénols

Les phénols ont la capacité d'agir comme des antioxydants en neutralisant les radicaux libres grâce à leur capacité à donner un électron ou un atome d'hydrogène. Leur structure leur confère une forte activité antioxydante, notamment grâce aux groupes hydroxyle des polyphénols qui sont de bons donneurs d'atomes d'hydrogène. Ces composés peuvent réagir avec les espèces réactives de l'oxygène et de l'azote, ce qui interrompt le cycle de génération de nouveaux radicaux (**Boubekri, 2014**).

Les composés phénoliques sont reconnus pour leur capacité à chélater les métaux ioniques qui participent à la production de radicaux libres, ce qui contribue à leur pouvoir antioxydant. Toutefois, il convient de noter que ces mêmes composés peuvent également agir comme des pro-oxydants [**Pereira 2009 ; Tsao 2010**].

Les polyphénols peuvent exercer leur action selon plusieurs mécanismes, notamment :

- Piégeage des radicaux libres
- La chélation des ions métalliques
- Inhibition enzymatique

6-1-1 Piégeage des radicaux libres

Les propriétés antioxydantes des composés phénoliques proviennent de leur capacité à capturer les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène par un processus radicalaire (**Sökmenet al., 2012**). Ils empêchent l'oxydation des lipides et d'autres molécules en donnant rapidement un atome d'hydrogène aux radicaux libres. Cette action est basée sur un mécanisme décrit en 1976 par Sherwin, dans lequel l'antioxydant transfère formellement un radical hydrogène qui peut ensuite subir un transfert d'électrons et, éventuellement, un transfert de proton pour former un radical intermédiaire (figure). Ce radical intermédiaire est stabilisé par des structures Mésoères conjuguées (**Portes, 2008**).

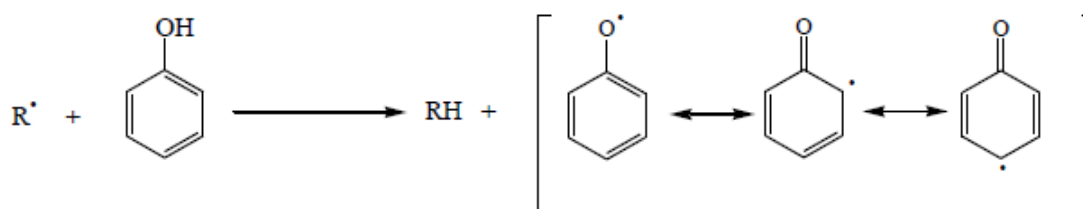
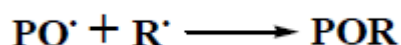


Figure5: Mécanisme d'action des antioxydants phénolique (**Boubekri, 2014**).

Les radicaux intermédiaires phénoxy ($PO\cdot$) sont stables en raison de la résonance, ce qui rend difficile l'initiation d'une nouvelle réaction en chaîne (**Dai et Mumper, 2010**). Ces radicaux peuvent également réagir avec d'autres radicaux libres, comme indiqué dans la réaction :



Les composés phénoliques sont de bons piègeurs de radicaux libres en raison de leur structure chimique, qui comprend des groupes phénoliques hydroxyles susceptibles de donner un atome d'hydrogène ou un électron aux radicaux libres, ainsi qu'un système aromatique stabilisé par la résonance (Dai et Mumper, 2010).

Les flavonoïdes, en particulier les flavan-3-ols, sont des piègeurs efficaces de radicaux libres (Fraga, 2007). Ceci est dû à la présence de 3',4'-dihydroxy et du groupe o-dihydroxy sur le noyau aromatique B, qui leur confèrent la propriété de donneurs d'électrons. De plus, la présence de 3-OH sur le cycle C renforce leur activité antioxydant. La double liaison C2-C3 conjuguée avec le groupe 4-céto favorise la délocalisation des électrons du noyau B, ce qui améliore encore leur activité antiradicalaire (Amic, 2003) et (KHazaiet al., 2011).

6-1-2 Chélation des ions métalliques

Les composés phénoliques peuvent avoir une activité antioxydante non seulement en piégeant les radicaux libres, mais aussi en chélatant ou en réduisant les ions métalliques tels que le cuivre (Cu^+) et le fer (Fe^{2+}) (Gülçin, 2006). Ces ions peuvent générer des radicaux hydroxyles (OH^{\bullet}) très réactifs à partir du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) par une réaction appelée la réaction de Fenton (Craftet al., 2012).



Des recherches ont démontré que les flavonoïdes peuvent se lier aux métaux et que la réussite de cette réaction dépend du pH du milieu ainsi que du nombre de groupes hydroxyle présents. Les trois principaux sites de coordination se situent entre (Figure):

- Le cycle A présente un 5-OH ainsi qu'un groupe 4-carbonyle présent dans le cycle C.
- Les deux groupes 3-OH et 4-carbonyle sont présents dans le cycle C.
- Dans le cycle B, les groupes 3'-OH et 4'-OH sont présents. (Olszowyet al., 2019).

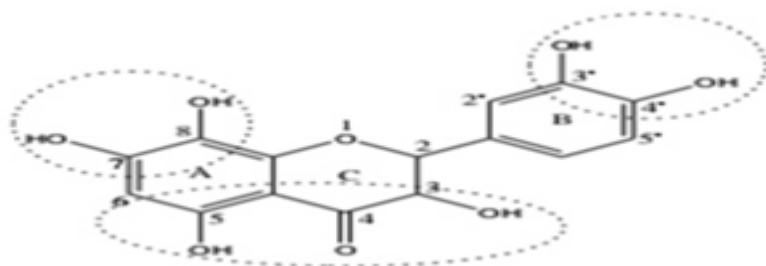


Figure6: Les flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques (Khazai, 2011).

6-1-3 Inhibition enzymatique

En raison de leurs multiples fonctionnalités phénoliques, les polyphénols interagissent fortement avec les protéines, ce qui conduit souvent à la précipitation des complexes protéines-polyphénols. C'est cette propriété qui est utilisée dans le processus de tannage du cuir (**Handique et Baruah, 2002**). Les interactions entre les polyphénols et les protéines ont été largement étudiées *in vitro*, en particulier pour les flavonoïdes [**Rolo-Naranjo 2009 ; S'wieca 2011**]. Pour mieux comprendre le mécanisme d'action inhibitrice des flavonoïdes, des chercheurs ont étudié l'effet de la quercétine sur l'oxydation de l'acide linoléique par la lipoxygénase. Ils ont découvert que l'inhibition des lipoxygénases par la quercétine ne résultait pas d'une complexation ou d'une oxydation du Fe^{2+} , mais plutôt d'une inhibition irréversible résultant de liaisons covalentes entre l'enzyme et les dérivés oxydés de la quercétine (quinone ou radical phénoxy) (**Chebil, 2006**).

6-2 Autres activités biologiques des polyphénols

Les polyphénols ont des effets bénéfiques dans différentes conditions de santé. Ils agissent comme des modulateurs des voies de signalisation de l'inflammation, réduisant les marqueurs inflammatoires et contribuant ainsi à prévenir la douleur musculaire [**Lenoir 2011 ; Van-long Woo 2022**].

De plus, les polyphénols sont utilisés dans la prévention et le traitement du cancer, en ciblant les processus cellulaires impliqués dans la cancérogenèse et favorisant la mort des cellules cancéreuses [**Zhou 2016 ; Link 2010 ; Melki 2022**]. Ils peuvent également protéger le système cardiovasculaire en améliorant la fonction des lipoprotéines et en prévenant l'oxydation des lipoprotéines de basse densité. Certains polyphénols végétaux, tels que l'acide ellagique et le resvératrol, jouent un rôle spécifique dans la prévention de l'athérosclérose en améliorant la fonction de la barrière endothéliale (**Zhang et al., 2022**).

7- Les facteurs qui influencent les polyphénols

De multiples éléments peuvent influencer la quantité de polyphénols présente dans les aliments quotidiens ou les extraits de plantes. Les conditions environnementales telles que la lumière, la température et l'oxygène, ainsi que le traitement et le stockage des aliments (par exemple, la chaleur, l'acidification, la lumière et l'oxygène), ou encore les réactions qui se produisent dans le système digestif (pH acide, enzymes, présence d'autres nutriments), sont les principaux paramètres susceptibles de réduire la concentration de polyphénols et d'entraîner une perte partielle, voire totale, de leur biodisponibilité. Ces facteurs restreignent leur disponibilité pour l'administration orale chez l'homme (**Moral et al., 2018**).

Chapitre III

La microencapsulation

1- Généralité

L'encapsulation est une technique qui permet de transformer un liquide en solide, de masquer une odeur ou un goût désagréable, de protéger les substances sensibles des effets nocifs de l'environnement extérieur et d'obtenir une libération contrôlée et ciblée des principes actifs (**Gouin, 2004**). Cette technique de microencapsulation, qui concerne des particules micrométriques (1 à 1000 μm), est utilisée pour différents types de composés tels que les principes actifs pharmaceutiques les actifs cosmétiques, les additifs alimentaires, les produits phytosanitaires, les arômes, les cellules, les encres, les micro-organismes et les catalyseurs de réactions chimiques. La microencapsulation permet d'obtenir des produits à haute valeur ajoutée, tandis que la nanoencapsulation est utilisée pour les particules submicroniques (1 à 1000 nm) (**Chevalier, 2014**).

La technique de microencapsulation est largement utilisée dans l'industrie alimentaire pour enrichir les aliments en différents nutriments tels que les arômes, les vitamines, les minéraux, les probiotiques, les acides gras et les antioxydants (**Champagne et Fustier, 2007**). Pour Améliorer la survie des bactéries probiotiques durant la fabrication de produits alimentaires et assurer leur libération ciblée dans le tractus gastro-intestinal, il est courant d'utiliser.

2 -Historique

En utilisant l'encapsulation, il est possible de piéger des principes actifs, sous forme solide, liquide ou gazeuse, à l'intérieur d'un matériau de support. Cette technique permet de créer des particules individualisées composées d'un matériau d'enrobage contenant un principe actif. Le matériau d'enrobage agit comme une barrière qui protège le principe actif et permet de contrôler sa libération. Cette technique a été utilisée pour la première fois il y a 60 ans dans le domaine de l'imprimerie, avec le papier carbone sans carbone qui contenait des microparticules de colorant. Depuis, la microencapsulation est largement utilisée dans l'industrie pharmaceutique pour les médicaments à libération prolongée, ainsi que dans d'autres applications industrielles telles que les colles (**Bile, 2015**).

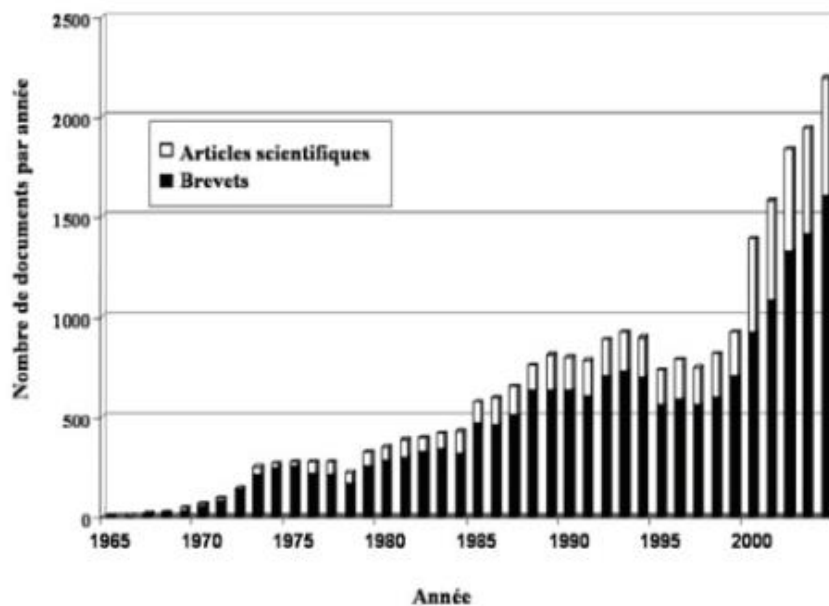


Figure7 : Evolution du nombre d'articles scientifiques et de brevets publiés par année dans le domaine de la microencapsulation (Bile, 2015).

3- Objectifs de l'encapsulation

L'encapsulation est une méthode qui permet de fixer le principe actif, de le préserver de l'environnement extérieur, de réguler et diriger sa libération, ainsi que de le structurer (Poncelet, 2006).

3-1 Isolement :

La technique de microencapsulation est utilisée pour restreindre le contact entre certaines parties d'un système, en particulier pour les cellules microbiennes (Zhu, 2007). Cette méthode permet de maintenir une activité optimale en isolant physiquement les cellules de leur environnement extérieur, tout en créant un environnement interne favorable à leur croissance et leur métabolisme. Elle est utilisée par la société Bioarmor dans la commercialisation de son complément alimentaire pour animaux, Biacton, où les bactéries sont encapsulées dans des polymères naturels pour augmenter leur survie durant la fabrication de l'aliment et pendant la période de stockage. L'encapsulation est également utilisée pour des catalyseurs et pour l'utilisation de composés incompatibles (Poe *et al.*, 2007).

3-2 Protection

Pour préserver les composés actifs qui sont souvent vulnérables face aux conditions extérieures, l'encapsulation est une technique efficace. Les vitamines E et C, par exemple, sont souvent encapsulées car elles sont sensibles à la dégradation lorsqu'elles sont exposées à la lumière, la chaleur ou l'oxygène [Duclairoir 2002 ; Yooe 2006 ; Stevanović 2007]. Des études ont montré que l'utilisation de liposomes a permis de protéger les vitamines E et C contre la dégradation, avant et après la pasteurisation du jus d'orange (Marsanascoet *al.*, 2011). Cette méthode de protection est

également utilisée dans le domaine médical, par exemple en encapsulant des bactéries probiotiques avec de l'alginate et du chitosan pour les protéger des conditions gastro-intestinales et permettre une libération des cellules bactériennes viables dans le colon (**Chávarriet *al.*, 2010**). L'encapsulation peut également améliorer les diagnostics, comme illustré par les travaux de (**Navarro *et al.*, 2012**), qui ont utilisé des nanoparticules lipidiques pour encapsuler le vert d'indocyanine, un agent contrastant, pour améliorer ses propriétés optiques.

3-3 Vectoriser

L'encapsulation des principes actifs permet de cibler leur action de manière efficace. Elle peut améliorer la pénétration cutanée et transdermique, ainsi que la libération ciblée dans le corps. Des études ont montré que l'encapsulation peut améliorer la pénétration cutanée de la caféine et de la vitamine C, ainsi que la libération de l'acide 5-aminosalicylique dans le colon. Elle est également utilisée pour masquer le goût de certains actifs en agroalimentaire et en pharmacie, comme l'huile de poisson (**Anwar et Kunz, 2011**), l'huile d'ail (**Siow et Ong, 2013**), et l'ibuprofène (**Diego-Taboada *et al.*, 2013**).

3-4 Contrôler la libération

L'encapsulation est largement utilisée pour créer des formulations efficaces et durables pour différentes applications. Elle permet de créer un profil de libération spécifique pour une substance (**Freiberg et Zhu, 2004**). Dans le domaine médical, elle est utilisée pour permettre une libération contrôlée d'agents anti-cancéreux sur une période prolongée (**Okada, 1997**). Dans l'industrie textile, la microencapsulation est utilisée pour limiter l'évaporation de molécules volatiles et assurer une action prolongée, comme dans les textiles contenant des insecticides encapsulés tels que l'huile essentielle de citronnelle, qui ont une libération supérieure et un effet répulsif prolongé. En somme, l'encapsulation est une méthode importante pour créer des formulations efficaces et durables pour diverses applications (**Specoset *al.*, 2010**).

3-5 Structurer

La technique d'encapsulation consiste à emprisonner un composé liquide dans des microparticules solides, ce qui entraîne un changement de l'état physique de l'actif de liquide à solide. Selon (**Fuchs *et al.*, 2006**), cette méthode permet une homogénéisation facile du mélange initial de l'actif liquide dans une poudre. En d'autres termes, l'encapsulation facilite la dispersion uniforme de l'actif liquide au sein de la poudre. (**Leclercq et Reineccius, 2009**) ont également souligné l'avantage de cette technique.

4 Procédés de microencapsulation

Il existe plusieurs techniques d'encapsulation pour les principes actifs, chacune ayant des tailles de particules, des taux d'encapsulation et des structures internes différentes, ainsi que des formes finales différentes telles que des poudres ou des dispersions liquides. Les techniques sont classées en trois catégories principales :

4-3 Les méthodes chimiques :

4-2-1 Polycondensation interfaciale en émulsion :

La polycondensation interfaciale permet la formation de microcapsules en enveloppant les gouttelettes d'émulsion avec une membrane polymérique. Les propriétés des capsules dépendent de la vitesse d'alimentation des monomères. Cette technique est largement utilisée pour encapsuler des molécules biologiques comme les protéines, offrant un contrôle des échanges avec l'environnement extérieur grâce à une membrane semi-perméable (Aniket, 2022).

4-2-2 Polymérisation en milieu dispersé :

La polymérisation en milieu dispersé implique la création de petites particules à partir d'une solution homogène contenant des monomères et des substances actives dissoutes. Les oligomères se condensent pour former des noyaux stabilisés par des agents tensioactifs. Ces noyaux captent les monomères et agissent comme des sites de croissance pour les particules polymériques finales. Les microsphères obtenues ont une taille d'environ 1µm à 15µm et présentent un taux d'encapsulation inférieur à 50% (Jessica, 2015).

4-4 Les méthodes physico-chimiques

4-3-1 La coacervation simple :

Le procédé de coacervation consiste à réduire la solubilité d'un polymère, dissous dans un milieu aqueux, en utilisant des variations de température ou en ajoutant un électrolyte, un non-solvant ou un deuxième polymère (agent de coacervation). Cette modification entraîne la formation de deux phases distinctes : l'une riche en polymère (appelée coacervat) et l'autre pauvre en polymère (Richard et benoit, 2000).

4-3-2 La coacervation complexe

La microencapsulation par coacervation complexe comprend quatre étapes : formation d'une émulsion ou d'une dispersion, séparation des polymères de la phase continue par modification du milieu, formation du coacervat riche en polymère qui se dépose sur les gouttelettes contenant le principe actif, et enfin, réticulation de la membrane pour renforcer sa stabilité (Jessica, 2015).

4-3-3 Gélification thermique d'émulsion :

Le procédé de gélification thermique d'émulsion consiste à dissoudre ou disperser un principe actif dans un matériau fondu dont la température est supérieure à sa température de fusion. Cette phase est ensuite émulsionnée dans une phase dispersante chauffée à la même température, puis la

solidification des globules dispersés est obtenue par un refroidissement brusque du milieu. Cette technique convient à l'encapsulation des principes actifs hydrophiles et lipophiles, mais nécessite que le principe actif ne présente aucune affinité avec la phase dispersante. Les microsphères obtenues ont généralement une taille de 30 μm à 300 μm et une teneur en principe actif d'environ 20%. Cependant, cette méthode peut entraîner la formation de formes cristallines non engendrées et altérer physiquement les microsphères pendant le refroidissement (**Jessica,2015**).

4-3-4Evaporation/extraction de solvant en émulsion simple :

La microencapsulation par évaporation de solvant est un processus qui implique l'utilisation d'une phase organique contenant le polymère, le solvant et le principe à encapsuler, ainsi qu'une phase aqueuse contenant un agent stabilisant. Un système d'agitation est utilisé pour mélanger les deux phases et créer une émulsion, qui est ensuite soumise à une évaporation à pression et température ambiantes ou à pression réduite. Le processus se compose de deux étapes principales : l'émulsification des deux phases et l'évaporation du solvant de la phase organique à la phase aqueuse, suivie de l'évaporation à l'interface eau/air (**Jessica, 2015**).

4-5 Procédés mécaniques

4-5-1 Nébulisation-séchage par atomisation

La technique de nébulisation/séchage est un processus continu pour créer une poudre à partir d'un liquide. Le liquide est vaporisé en fines gouttelettes dans une enceinte et exposé à un flux d'air chaud pour évaporation rapide. Les microparticules solides sont formées par précipitation lorsque la concentration du produit dissous augmente. Les microsphères utilisées sont généralement de 1 à 50 μm pour un séchage à co-courant, tandis que les tailles moyennes pour un séchage à contre-courant sont plus grandes de l'ordre de 2 à 3mm en raison de l'agrégation des petites particules. Le taux d'encapsulation est inférieur à 40 %.

4-5-2 Enrobage en lit fluidisé

La technique d'enrobage en lit fluidisé utilise un courant d'air pour suspendre les particules de principe actif à enrober. La solution liante est pulvérisée en spray sur les particules grâce à une buse pour obtenir un enrobage homogène. Ce procédé nécessite des particules solides de principe actif avec une distribution granulométrique étroite pour obtenir des enrobages homogènes et d'épaisseur contrôlée sans agglomération de particules. Cette technique n'est pas adaptée à l'enrobage de particules dont la taille est inférieure à 100 μm en raison de phénomènes d'agrégation.

4-5-2Gélification ou congélation de gouttes

Pour ces deux techniques, les gouttes sont produites en utilisant une buse vibrante et sont ensuite recueillies dans un milieu qui permet la gélification ou la solidification du matériau enrobant. La gélification des gouttes repose sur une solution aqueuse de polymère capable de former des gels sous une action extérieure physique ou chimique. Par exemple, une solution

d'alginate de sodium produit des gouttes qui se gélifient dans une phase aqueuse contenant du chlorure de calcium, ce qui permet d'encapsuler le principe actif dans des microsphères.

4-5-3 La technique de congélation

Consiste à dissoudre ou disperser le principe actif dans un matériau enrobant fondu, tel qu'un corps gras, un glycéride ou une cire ayant un point de fusion relativement bas entre 50°C et 120°C. Lorsque la température est abaissée, les gouttes qui sortent de la buse vibrante sont encapsulées (Jessica, 2015).

5 -L'encapsulation dans les cellules de levure

La technique de l'encapsulation des antioxydante (huiles essentielles et polyphénol et des arômes....ect) utilisant des cellules de levure (*Saccharomyces cerevisiae*) comme matériau de paroi est considérée comme un processus rentable et capable de produire de grandes quantités (Fang et Bhandari, 2010).

Cette méthode d'encapsulation repose sur les cellules de levure, qui permettent aux actifs de se déplacer facilement à travers la paroi cellulaire et la membrane tout en restant à l'intérieur des cellules de manière passive. Les cellules de levure peuvent encapsuler des actifs en contrôlant leur diffusion à Travers leur paroi et leur membrane, grâce à une combinaison de température et de temps définis dans un mélange de solution prédéterminé. La paroi des cellules de levure offre une protection aux ingrédients actifs liquides contre l'évaporation, l'extrusion, l'oxydation et la lumière (Fang et Bhandari, 2010).

Shiet *al.* (2007) ont utilisé cette technique pour encapsuler des polyphénols hydrosolubles. En soumettant les cellules de levure à un traitement de 24 heures à 54°C avec 5% de chlorure de sodium pour l'autolyse, il est possible d'encapsuler le polyphénol hydrosoluble de l'acide chlorogénique avec une efficacité d'encapsulation de 12,6% .

Les résultats de l'étude de Fang et Bhandari (2010) montrent que la levure encapsulée avec de l'acide chlorogénique est hautement résistante aux conditions thermiques et humides, ce qui suggère que les cellules de levure sont capables de préserver l'intégrité de l'acide chlorogénique tout en permettant une libération efficace. En outre, l'utilisation de cette technique présente un avantage considérable, puisque seuls des ingrédients de base tels que l'eau, la levure et les matériaux sont utilisés, sans recourir à des additifs

6- Spécificités des capsules de levure

La taille uniforme de la cellule de levure est remarquablement constante, oscillant entre 5 et 10 µm de longueur. Cette particularité est d'autant plus avantageuse que la cellule reste invisible et n'affecte pas la texture des aliments ou des produits cosmétiques auxquels elle est incorporée. De plus, des taux d'encapsulation élevés peuvent être obtenus en utilisant des cellules de levure, bien que cela dépende de la substance encapsulée. Enfin, la résistance de la structure de la levure aux

traitements rigoureux, notamment à des températures élevées, est également remarquable (Nomandet *al.*, 2005). : mais aussi pour éclairer (Shiet *al.*, 2007).

7 -Applications

Certaines des applications de la microencapsulation peuvent être décrites en détail comme indiqué ci-dessous (Singh *et al.* ,2010) :

- ❖ les applications de la microencapsulation :
Les formes galéniques à libération prolongée permettent l'administration de médicaments microencapsulés. La microencapsulation est particulièrement adaptée à la préparation de comprimés, de gélules ou de formes posologiques parentérales.
- ❖ La microencapsulation est une technique qui peut être employée pour préparer des formes posologiques à enrobage entérique, permettant ainsi au médicament d'être alimenté de manière sélective dans l'intestin plutôt que dans l'estomac.
- ❖ La microencapsulation peut servir à masquer le goût désagréable des médicaments amers.
- ❖ D'un point de vue mécanique, la microencapsulation a été employée pour faciliter l'ajout de médicaments huileux dans les formes galéniques en comprimés. Cette technique permet de surmonter les difficultés liées à la production de comprimés à partir de granules collantes ou de la compression directe de comprimés.
- ❖ La microencapsulation a été mise en œuvre pour protéger les médicaments contre les dangers environnementaux tels que l'humidité, la lumière, l'oxygène ou la chaleur. Bien que la microencapsulation ne puisse pas encore offrir une barrière absolue pour les matériaux qui se dégradent en présence d'oxygène, d'humidité ou de chaleur, elle permet toutefois de fournir une protection significative contre ces éléments.
- ❖ La microencapsulation a été utilisée pour séparer les substances incompatibles, notamment les eutectiques pharmaceutiques, où le contact direct des matériaux peut entraîner la formation de liquides. Par exemple, pour améliorer la stabilité du mélange incompatible d'aspirine et de maléate de chlorphéniramine, ces deux substances ont été micro-encapsulées avant d'être mélangées.
- ❖ La microencapsulation permet de réduire la consommation des substances. En effet, une substance volatile encapsulée peut être conservée plus longtemps sans subir une évaporation importante.
- ❖ On a également utilisé la microencapsulation pour minimiser les risques de manipulation de substances toxiques ou nuisibles. La supériorité liée à la manipulation de fumigants,

d'herbicides, d'insecticides et de pesticides a été significativement réduite grâce à la microencapsulation.

- ❖ On peut réduire les propriétés hygroscopiques de plusieurs matériaux de base grâce à la microencapsulation.
- ❖ Plusieurs médicaments ont été encapsulés à l'aide de la microencapsulation pour diminuer l'irritation gastrique.
- ❖ Une technique de microencapsulation a également été développée pour produire un dispositif contraceptif intra-utérin.
- ❖ La microencapsulation a été utilisée dans la fabrication de formulations de comprimés multicouches pour la libération contrôlée de médicament, où les couches médianes de particules sont comprimées.

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Dans cette étude, les feuilles de pissenlit ou dent-de-lion (*Taraxacum officinale* L.), une espèce sub-cosmopolite relativement courante dans toute l'Algérie septentrionale, ont été utilisées comme matériau végétal. La récolte a été effectuée manuellement le 27 février 2023, en phase de floraison et de croissance végétative élevée de la plante. Les échantillons ont été prélevés du jardin de l'université, 20 août 1955, wilaya de Skikda.



Figure8 : plante pissenlit

La plante a subi un nettoyage pour se débarrasser de la poussière et des autres impuretés, puis elle a été découpée en petits morceaux.

2. Microencapsulation des extraits de pissenlit dans les cellules de levure

Le processus d'encapsulation a été réalisé en utilisant à la fois des cellules de levure plasmolysées et non plasmolysées. Le traitement de plasmolyse a été effectué selon la méthode proposée par **Kavosi et al. (2018)**. Pour l'application de la plasmolyse, tout d'abord, les cellules de levure ont été placées dans une solution de NaCl à 10 % à 180 tr/min et 55 °C pendant 24 heures. À la fin, les cellules de levure plasmolysées ont été collectées par centrifugation à 4100 g pendant 10 minutes, les résidus cellulaires/NaCl sur le culot ont été éliminés par lavage deux fois à l'aide d'eau déminéralisée. Enfin, tous les échantillons ont été lyophilisés pour obtenir la cellule de levure plasmolyséesfinale. Pour les cellules de levure non plasmolysées, 170 g de cellules de levure ont été lavées à l'aide d'un tampon phosphate (pH 6,8), puis soumises à une centrifugation (4100 g pendant 10 minutes) pour collecter les culots. Les culots collectés ont été lavés cinq fois à l'eau distillée, puis lyophilisés pour obtenir la cellule de levure non plasmolysé ou intacte.

3 Encapsulation des extraits de pissenlit par des cellules de levure

L'encapsulation des extraits a été réalisée selon la méthode décrite par [Bishop 1998 ;Shiet 2007]. Dans ce but, 3 g de cellules de levure lyophilisées (plasmolysées ou non plasmolysées) et 1 g d'extrait ont été placés dans un bécher. Ensuite, 5 mL de solvant, à savoir un mélange éthanol:eau distillée (etOH:H₂O, 1:1 v/v), ont été ajoutés et la suspension a été mélangée pendant un certain temps pour obtenir une solution homogène. Enfin, les échantillons ont été placés sur un agitateur à 40 °C et 180 rpm pendant 24 heures. À la fin de la durée, les cellules ont été centrifugées à 8000 rpm pendant 15 minutes. Après avoir retiré la phase surnageante, les cellules ont été lavées plusieurs fois à l'eau distillée. Ensuite, les échantillons ont été lyophilisés

Caractérisation des microcapsules de cellules de levure chargées des extraits

Efficacité d'encapsulation

L'efficacité d'encapsulation (**EE**, %) des microcapsules de cellules de levure a été déterminée à l'aide de l'équation suivante (Paramera *et al.*, 2011) :

$$EE(\%) = \frac{TPE}{TPT} \times 100$$

TPE : correspond à la concentration totale de polyphénols, flavonoïdes et tanins encapsulés ;

TPT : désigne la concentration de composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes et tanins) de l'extrait non encapsulé (Ceglediet *et al.*, 2022).

4. Dosage des polyphénols totaux

Pour mesurer les polyphénols totaux, on utilise la méthode du réactif Folin-Ciocalteu qui est constitué d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Cette méthode implique l'oxydation des phénols, ce qui réduit le réactif en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène, qui produit une coloration ayant une absorption maximale entre 725 et 750 nm. Cette coloration est proportionnelle à la quantité de polyphénols dans les extraits végétaux. Pour mesurer les polyphénols dans les extraits de pissenlit avant et après encapsulation, 2 ml d'extrait sont mélangés avec 0,2 ml de réactif Folin-Ciocalteu et 1,4 ml de Na₂CO₃ à 7,5 % (m/v). Le mélange est incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 2 heures, puis la lecture des absorbances est effectuée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-1800 (Shimadzu). Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique / g d'extrait sec en se référant à une courbe d'étalonnage de l'acide gallique réalisée avec 6 valeurs de concentrations allant de 0 à 1 mg/ml (Waterhouse, 1999).

5. Dosage des flavonoïdes

La méthode utilisée pour évaluer la quantité de flavonoïdes dans les extraits de pissenlit est une adaptation de celle décrite par **Chang *et al.* (2002)**. Cette technique repose sur la formation d'un complexe stable entre les atomes d'oxygène situés sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes et le chlorure d'aluminium, qui donne une couleur jaune et absorbe à 415 nm dans le spectre visible. Pour réaliser cette mesure, 0,2 ml d'extrait sont mélangés à 1,72 ml d'éthanol à 96%, 0,4 ml de chlorure d'aluminium à 10% et 1 ml d'acétate de sodium 1M. Le mélange est agité et incubé dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes, puis la lecture de l'absorbance est réalisée à 415 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-1800 (**Shimadzu**). Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent de quercétine par gramme d'extrait sec, en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec de la quercétine.

6. Dosage tanins

La méthode de la réaction vanilline a été utilisée pour doser les tanins. Le milieu réactionnel de 6 mL comprenait 1 mL d'échantillon ou d'éthanol, 2,5 mL de réactif A (solution de vanilline à 1% p/v dans le méthanol) et 2,5 mL de réactif B (solution d'HCl ou d'H₂SO₄ à 9N dans le méthanol), comme décrit dans les travaux de **Price *et al.* (1978)**. La réaction s'est déroulée à une température de 30°C pendant 15 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 500 nm (A₅₀₀). Les résultats ont été exprimés en mg équivalent d'acide tannique par gramme d'extrait sec, en se basant sur une courbe d'étalonnage d'acide tannique.

7. Analyse par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) en Réflexion Totale Atténuée (ATR) des Extraits de pissenlit Avant et Après encapsulation

L'objectif de cette étude était d'analyser en détail les variations spectrales des extraits phénoliques non encapsulés, des levures, ainsi que des extraits encapsulés dans des cellules de levure intactes et plasmolysées. Pour ce faire, nous avons utilisé un spectromètre FTIR Cary-600 équipé d'un accessoire ATR (MIRacle™ ATR à une réflexion simple) et d'un élément de réflexion interne en diamant (IRE) de PIKE Technologies afin d'enregistrer les spectres.

Les enregistrements spectraux ont été effectués dans une plage de 4000 à 400 cm⁻¹, avec une résolution de 4 cm⁻¹, en moyennant 32 scans pour chaque échantillon. Pour améliorer la qualité des données, les spectres de fond ont été soustraits à l'aide du logiciel Resolution Pro version 5.0 (Agilent Technologies). Ensuite, les spectres ont été lissés à l'aide de l'algorithme de Savitzky-Golay avec une fenêtre de 11 points. Une correction de base a été appliquée aux spectres en utilisant le filtre de Savitzky-Golay : deuxième dérivée avec une fenêtre de six points. Enfin, une normalisation vectorielle a été réalisée pour une comparaison plus précise des spectres (**Sala *et al.*, 2020**). Grâce à ces étapes d'analyse approfondie, nous avons pu obtenir des informations

détaillées sur la composition chimique et les interactions moléculaires des échantillons étudiés en utilisant la spectroscopie FTIR comme technique d'investigation.

8. Evaluation de l'effet de la microencapsulation sur l'activité antioxydante des extraits de pissenlit

Afin d'évaluer l'impact de la microencapsulation sur l'activité antioxydante des extraits de pissenlit, deux méthodes ont été utilisées : la méthode de piégeage du radical libre DPPH et la méthode ABTS.

8.1. Méthode DPPH

Le test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un outil précieux pour évaluer l'activité antioxydante en milieu organique. Ce test repose sur la réduction d'une solution alcoolique du radical DPPH en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH), ce qui entraîne la formation d'une forme non radicalaire, DPPH-H. En présence de radicaux DPPH, la solution prend une couleur pourpre foncé et absorbe fortement à 517 nm. Toutefois, l'ajout d'un agent antioxydant entraîne une décoloration de la solution au cours de la réaction, ce qui modifie la colorimétrie de la solution **Blois (1958)**.

Pour mesurer l'activité antioxydante par la méthode DPPH, il convient de préparer une solution de DPPH en dissolvant 3,94 mg de DPPH dans 100 mL d'éthanol afin d'obtenir une concentration de 0,01 mM. Ensuite, les échantillons à évaluer doivent être dissous dans de l'éthanol et ajoutés à la solution de DPPH dans des tubes à essai contenant des concentrations croissantes d'échantillon à tester (0-1 mg/mL). Les tubes à essai sont ensuite incubés à l'abri de la lumière pendant 30 minutes à température ambiante. Après l'incubation, on mesure l'absorbance à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

Le pourcentage d'inhibition de DPPH a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\% \text{ inhibition} = \frac{[(\text{absorbance du contrôle} - \text{absorbance de l'échantillon})]}{\text{absorbance du contrôle}} \times 100$$

Pour illustrer graphiquement la relation entre le pourcentage d'inhibition de DPPH et la concentration de l'échantillon, une courbe dose-réponse est générée. Cette courbe permet de déterminer l'**IC50**, qui représente la concentration d'échantillon nécessaire pour réduire de moitié la quantité initiale de DPPH. L'IC50 est calculé en effectuant une interpolation des données obtenues à partir de la courbe dose-pourcentage d'inhibition.

8.2. Méthode ABTS

La méthode ABTS est fondée sur la capacité des composés à piéger le radical-cation ABTS●+ (un sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis(3-éthylbenzothiazoline)-6-sulfonique), qui est de couleur bleu verdâtre. Ce radical cationique est formé lorsque l'ABTS est oxydé et initialement incolore. La réaction se déroule en deux étapes : lors de la première étape, le radical ABTS●+ est formé en

Matériel et méthodes

arrachant un électron à un atome d'azote de l'ABTS en présence de $K_2S_2O_8$ (persulfate de potassium) dans le milieu réactionnel. La deuxième étape se produit en présence d'un antioxydant donneur de H^+ . Le radical d'azote concerné piège un H^+ , ce qui conduit à l'ABTSH⁺ et entraîne la décoloration de la solution (**Reet et al., 1999**).

Pour préparer une solution mère d'ABTS, on mélange 5 mL d'eau avec 19,2 mg d'ABTS et 3,3 mg de $K_2S_2O_8$. Le mélange est incubé dans l'obscurité pendant 16 heures à température ambiante. La solution fille de travail d'ABTS⁺ est obtenue en diluant la solution mère d'ABTS avec de l'eau jusqu'à ce qu'elle ait une absorbance d'environ (0,7) à 734 nm (**Reet et al., 1999**).

Pour chaque tube, des échantillons à différentes concentrations (0-1 mg/ml) des extraits encapsulés et non encapsulés ainsi que 160 μ l de la solution d'ABTS, ont été incubés dans l'obscurité pendant 30 minutes. Les absorbances ont ensuite été mesurées à 734 nm.

Pour calculer l'activité antioxydante, la formule suivante a été utilisée :

$$\% \text{ inhibition} = \frac{[(\text{absorbance du contrôle} - \text{absorbance de l'échantillon})]}{\text{absorbance du contrôle}} \times 100$$

Afin de déterminer l'indice IC₅₀, les pourcentages d'inhibition du radical ABTS ont été tracés en fonction des concentrations d'extrait, et on calcule la concentration qui donne 50% d'inhibition du radical libre ABTS

9. Analyse statistique

Le calcul des moyennes plus ou moins l'écart type des trois répétitions ainsi que les représentations graphiques ont été effectués par Excel 2013 (Microsoft Excel Version 3. 2013, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Un test ANOVA à un seul facteur suivi par test Post hoc – Tukey a été réalisé à l'aide du logiciel Minitab® LLC (Minitab Statistical Software for windows released 2019, version 19.1.1.0, Minitab, LLC sis 1829 Pine Hall Road, State College, PA, USA) pour comparer moyennes obtenues. Les lettres en exposant ; a, b, c, d indiquent une différence significative au seuil de signification 0,05. Les spectres de l'analyse FTIR ont été tracés par OriginLab 9.6 (OriginLab Corporation. (2019). OriginPro 2019 SR1 (version 9.61.0000). Northampton, MA, USA).

Résultats et discussion

Résultats et discussion

1. Teneur en composés phénoliques des feuilles fraîches du pissenlit

1.1 Les courbes d'étalonnage

Les concentrations de polyphénols totaux, de flavonoïdes et de tanins ont été déterminées en utilisant des courbes d'étalonnage basées respectivement sur l'acide gallique, la quercétine et l'acide tannique. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (**mg EAG/g ES**) pour les polyphénols totaux, en milligrammes équivalents de flavonoïdes par gramme d'extrait sec (**mg EQ/g ES**) pour les flavonoïdes et en milligrammes équivalents d'acide tannique par gramme d'extrait sec (**mg EAT/g ES**) pour les tanins.

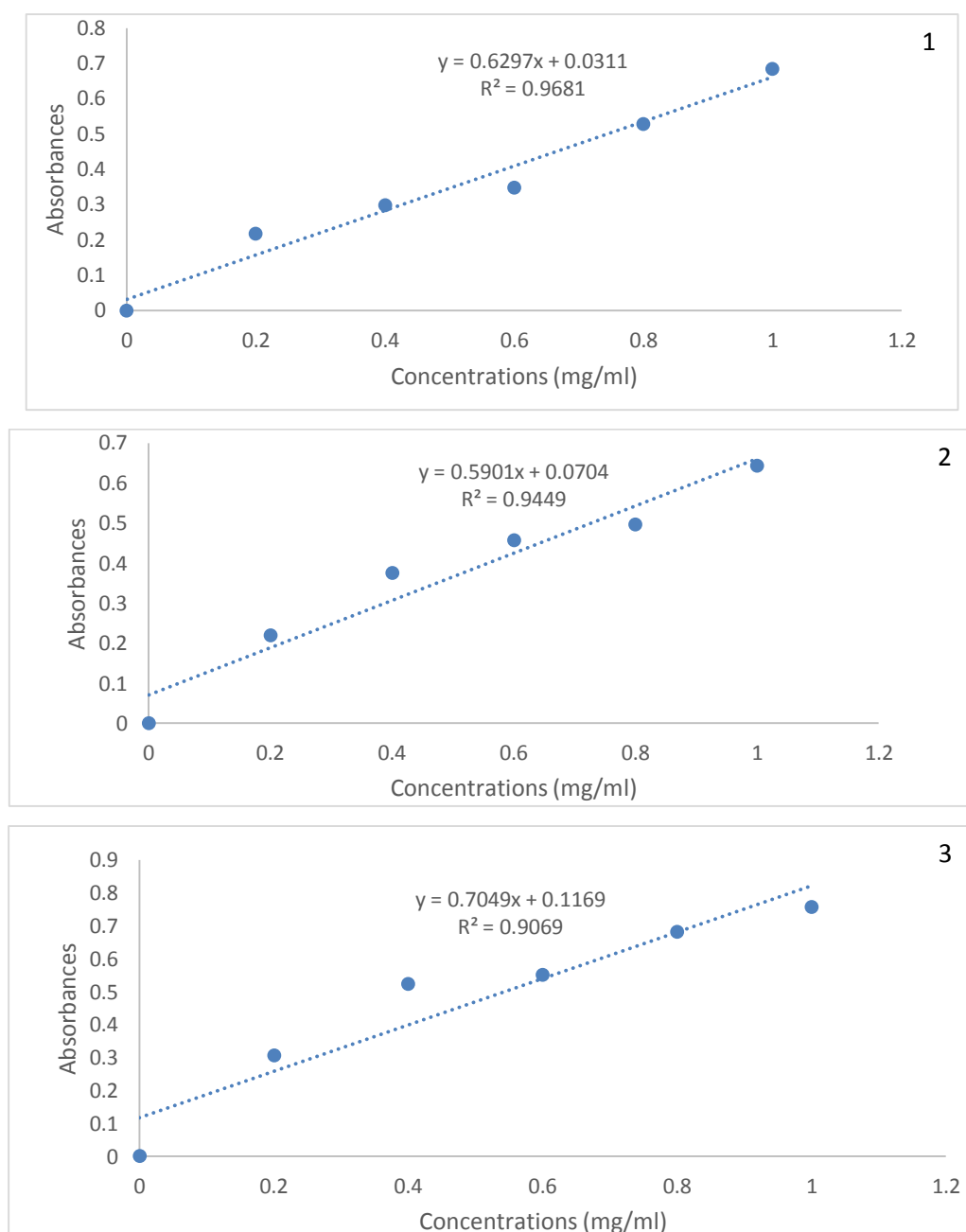
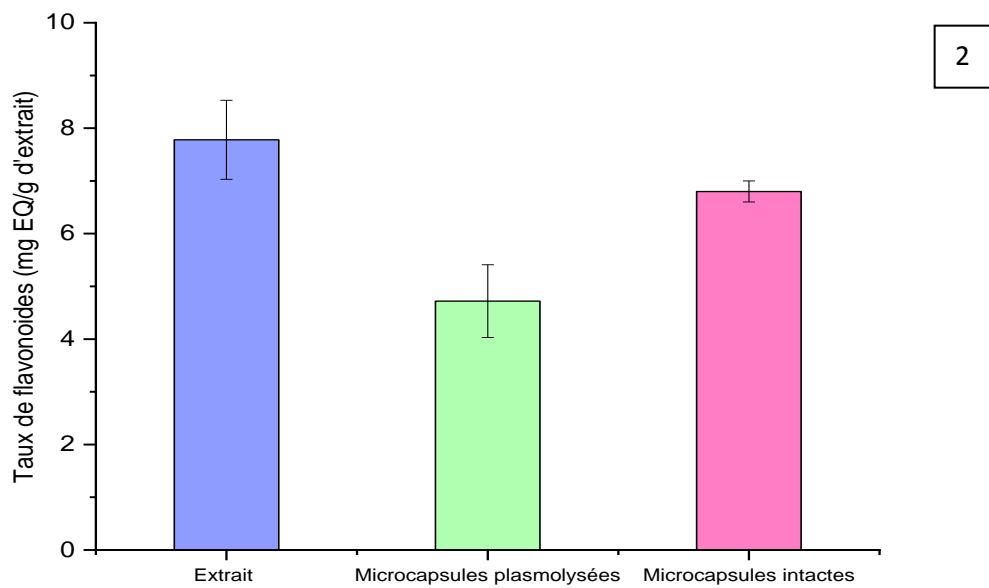
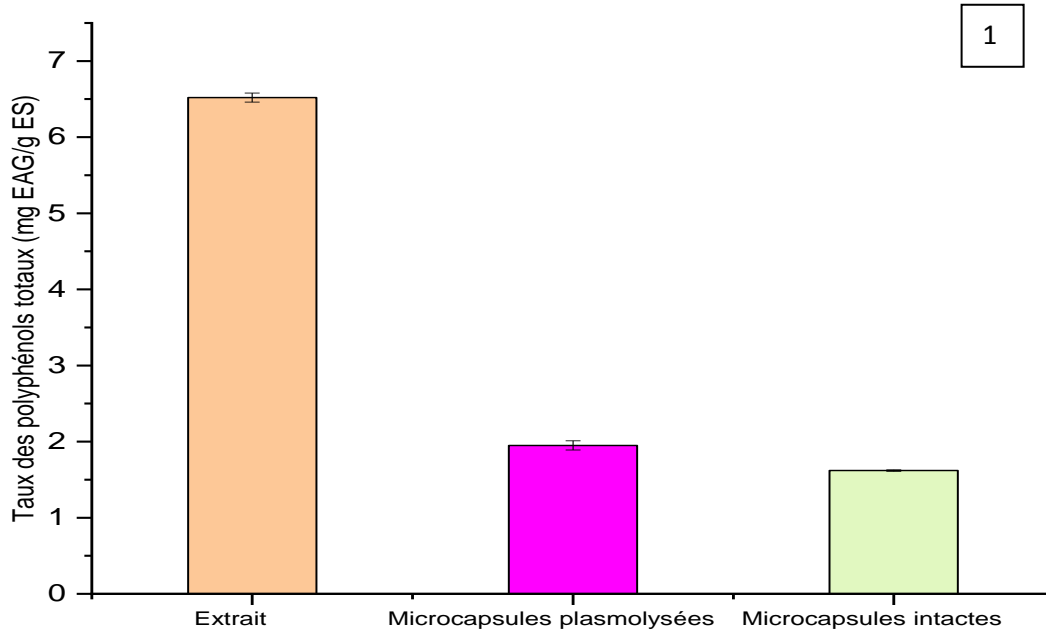


Figure9 : Courbes d'étalonnage : 1 : Acide gallique, 2 : quercétine, 3 : Acide tannique.

Résultats et discussion

1.2. Effet de l'encapsulation sur les composés phénoliques

Les teneurs des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes et en tanins) sont montrés dans la figure suivante :



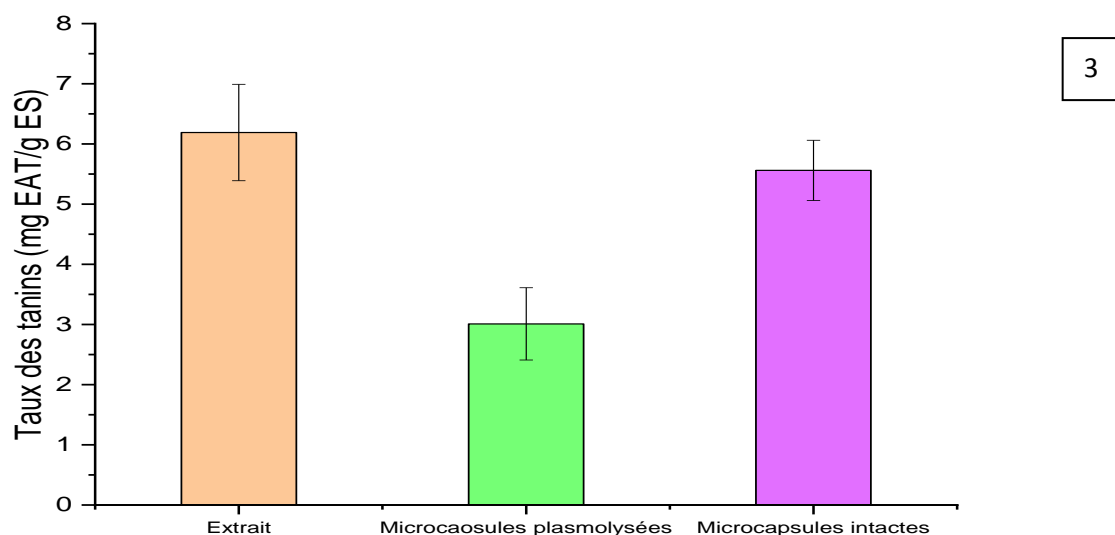


Figure10 : diagramme la teneur totale du composés phénoliques (1 :polyphénols totaux, 2 :flavonoïdes et 3 tanin.).

Les résultats obtenus montrent que l'extrait de pissenlit présente des concentrations de composés phénoliques de $6,52 \pm 0,2$ mg EAG/g ES pour les polyphénols totaux, $7,78 \pm 0,9$ mg EQ/g ES pour les flavonoïdes et $6,19 \pm 1,2$ EAT/g ES pour les tanins. En comparant nos résultats à d'autres études similaires, nous constatons que notre valeur de polyphénols totaux est supérieure à celle rapportée par **Jingwen et al. (2021)** et **Aremu et al. (2019)**, qui ont signalé des concentrations de polyphénols totaux de pissenlit de respectivement 8,4 mg EAG/g et $4,35 \pm 0,15$ mg EAG/g. En revanche, notre valeur est inférieure à celle trouvée par **Akhtaret et al. (2022)**, qui ont rapporté une concentration de polyphénols totaux de $178,27 \pm 17,17$ mg EAG/g dans des extraits méthanoliques de pissenlit. De plus, une étude menée par **Aabideen et al. (2020)**, utilisant une extraction assistée par ultrasons des extraits hydro-éthanoliques de *Taraxacum officinale*, a trouvé une concentration de 69,42 mg EAG/g. De même, une étude réalisée par **Apure et al. (2022)** a enregistré une concentration de polyphénols totaux pratiquement équivalente à notre résultat, soit environ $13,15 \pm 0,81$ mg EAG/g.

Selon l'étude de **Carrasco et al. (2015)**, une analyse HPLC d'extraits de différentes parties du pissenlit a révélé une grande variation des composés phénoliques, notamment les flavonoïdes les plus courants tels que les 7-O-glycosides de l'apigénine et de la lutéoline. Leur concentration varie entre les feuilles et les racines, avec une quantité plus élevée de 28,32 mg/g d'extrait sec dans les feuilles. Cela dépasse le taux que nous avons obtenu dans notre étude.

Dans l'étude de **Jingwen et al. (2021)**, les racines de pissenlit ont été extraites avec différents solvants tels que l'eau distillée, le méthanol, l'éthanol, le n-hexane et l'acétate d'éthyle. Les teneurs en flavonoïdes totaux étaient respectivement de : $2,57 \pm 0,06$; $5,31 \pm 0,18$; $10,03 \pm 0,24$; $8,53 \pm 0,04$ et $7,90 \pm 0,27$ (mg/g). Ces valeurs sont inférieures à celle obtenue dans notre étude.

Résultats et discussion

De plus, les teneurs en flavonoïdes enregistrées par **Aremu (2019)** ; **Akhtar (2022)** sont respectivement de 23,2 mg EQ/g et $18,50 \pm 1,64$ mg EQ/g.

Plusieurs études ont montré que les tanins entre dans la composition chimique du pissenlit (**Akhtar 2022** ; **Marcus, 2019**).

Cependant, selon l'étude réalisée par **Kassimi et al. (2013)**, il a été observé que l'extrait de *Taraxacum officinale* ne contenait pas de tanins.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent une quantité relativement faible de polyphénols totaux, de flavonoïdes et de tanins par rapport à l'étude de **Ciucure et al., (2016)**, qui a enregistré des quantités allant de 4.4549 g / 100 g à 89.5833 g / 100g. La variation des concentrations entre notre plante et les résultats d'autres études dans ce domaine peut être expliquée par plusieurs facteurs. Parmi ces facteurs figurent la méthode d'extraction employée (directe ou successive), les différents solvants d'extraction utilisés, la nature spécifique de la plante étudiée, ainsi que des éléments intrinsèques tels que les conditions climatiques, la composition du sol et la saison de récolte des échantillons (**Kouamé et al., 2021**).

Il existe une différence significative entre les taux des composés phénoliques de l'extrait avant et après encapsulation.

Cependant, l'encapsulation a entraîné une diminution de la concentration des composés phénoliques. Les extraits encapsulés dans des cellules plasmolysées ont présenté une meilleure rétention des polyphénols totaux, par rapport aux cellules intactes. Cependant, pour les flavonoïdes et les tanins, les cellules de levure intactes ont montré une meilleure rétention que les cellules de levure plasmolysées.

L'efficacité d'encapsulation des différents composés phénoliques est montrée dans le tableau :

Tableau2 : Efficacité de l'encapsulation

Efficacité d'encapsulation (%)	Levures intactes (%)	Levures plasmolysées(%)
Polyphénols totaux	24.98 ± 0.25^b	29.97 ± 0.5^a
flavonoïdes	87.341 ± 0.8^a	60.718 ± 0.86^b
tanins	69.778 ± 0.6^a	48.627 ± 0.89^b

L'analyse **ANOVA** a révélé une différence significative ($p < 0.05$) dans les efficacités d'encapsulation des composés phénoliques, à savoir les polyphénols totaux, les flavonoïdes et les tanins, entre les deux types de microcapsules (intactes et plasmolysées).

En ce qui concerne les polyphénols totaux, les levures plasmolysées ont démontré une efficacité d'encapsulation supérieure, avec un taux de $29,97 \pm 0,5\%$, tandis que les levures intactes ont présenté une efficacité moindre de $24,98 \pm 0,25\%$.

Résultats et discussion

Ces résultats indiquent que seuls $29,97 \pm 0,5\%$ et $24,98 \pm 0,25\%$ des polyphénols sont retenus respectivement par les cellules plasmolysées et intactes. Cette observation est principalement liée aux propriétés physicochimiques des composés phénoliques présents dans l'extrait de pissenlit.

Généralement, la couche de paroi cellulaire confère une résistance mécanique au composé encapsulé. Cette couche peut également permettre le passage de molécules semi-polaires et non polaires. La solubilité des molécules qui traversent la membrane cellulaire dépend de divers paramètres, tels que leur taille, leur forme et leur polarité. Des études ont montré que les molécules ayant un rayon moléculaire inférieur à 0,81 nm ou un poids moléculaire inférieur à 620 Da peuvent facilement pénétrer la paroi cellulaire de levure (**Bishop *et al.*,1998** ; **Zlotnik *et al.*,1984** ; **Scherrer *et al.*,1974**) . Le facteur de polarité joue également un rôle déterminant dans le passage des molécules à travers la membrane cellulaire, et donc dans l'efficacité d'encapsulation. Par conséquent, une augmentation de la polarité favorise le rendement d'encapsulation.

On a remarqué également que les levures plasmolysées ont présenté des meilleures efficacités par rapport les cellules intactes concernant la microencapsulation des polyphénols totaux. Ces résultats confirment les conclusions d'une étude antérieure menée par **Kavosi *et al.* (2017)** et sont également cohérents avec les résultats d'autres études qui ont montré une encapsulation moins efficace dans les cellules intactes par rapport aux cellules plasmolysées.

La différence d'efficacité d'encapsulation entre les levures plasmolysées et les levures intactes peut être attribuée aux modifications structurelles qui surviennent lors de la plasmolyse. Certains composés peuvent avoir des difficultés à traverser les membranes plasmiques en raison de leur faible solubilité dans l'eau, due à leur forte hydrophilicité ou à leur caractère ionique. Une approche couramment utilisée pour faciliter la diffusion de ces composés hydrosolubles consiste à soumettre les cellules à une plasmolyse avant leur exposition au composé d'intérêt. La plasmolyse est un traitement qui perturbe ou affaiblit les membranes cellulaires. Il est important de noter que les traitements plasmolytiques affectent non seulement l'intégrité de la membrane plasmique, mais aussi pratiquement toutes les organites cytoplasmiques (**Coradello et Tirelli, 2021**).

Ce processus entraîne le développement d'espaces intracellulaires, ce qui améliore la capacité des transporteurs à encapsuler les composés **Korber *et al.*,(1996)**. Par exemple, **Shi *et al.* (2007)** ont observé une augmentation de l'efficacité d'encapsulation après un traitement par un plasmolytique, De même, **Salari *et al.* (2013)**.ont démontré que la plasmolyse provoque des changements structurels dans les cellules de levure, sans altérer les propriétés de chargement

En ce qui concerne les flavonoïdes et les tanins, les levures intactes ont présenté les meilleures efficacités d'encapsulation, avec $87.341 \pm 0.8\%$ pour les flavonoïdes et $69.778 \pm 0.6\%$ pour les tanins. En revanche, l'efficacité d'encapsulation de ces deux composés dans les cellules plasmolysées était

Résultats et discussion

de $60.718 \pm 0.86\%$ pour les flavonoïdes et $48.627 \pm 0.89\%$ pour les tanins. Ces résultats indiquent que les cellules intactes ont permis une meilleure rétention de ces composés.

Ces différences peuvent s'expliquer par la composition chimique des flavonoïdes et des tanins et leur interaction avec la paroi des levures. Une molécule très hydrophobe doit d'abord passer par le groupe fonctionnel polaire des phospholipides de la couche membranaire cellulaire. Un groupe polaire, tel qu'un groupe hydroxyle, sera attiré par la région hydrophile. En revanche, les molécules très hydrophobes seront repoussées de cette région et ne pourront initialement être attirées que par des protéines intégrales hydrophobes qui permettent l'accès aux chaînes hydrophobes des phospholipides (Bishop *et al.*, 1998).

Cette observation peut être attribuée à l'augmentation de la fluidité des cellules plasmolysées. Il est important de noter que chaque approche présente ses propres avantages et inconvénients. Une étude a montré que la fluidité de la membrane cellulaire de levure augmentait grâce à la plasmolyse, ce qui influençait le rendement d'encapsulation des molécules hydrophobes, telles que la curcumine (Paramera *et al.*, 2011).

2. Analyse FTIR

L'analyse FTIR des extraits de pissenlit avant et après encapsulation sont montrés dans la figure 11

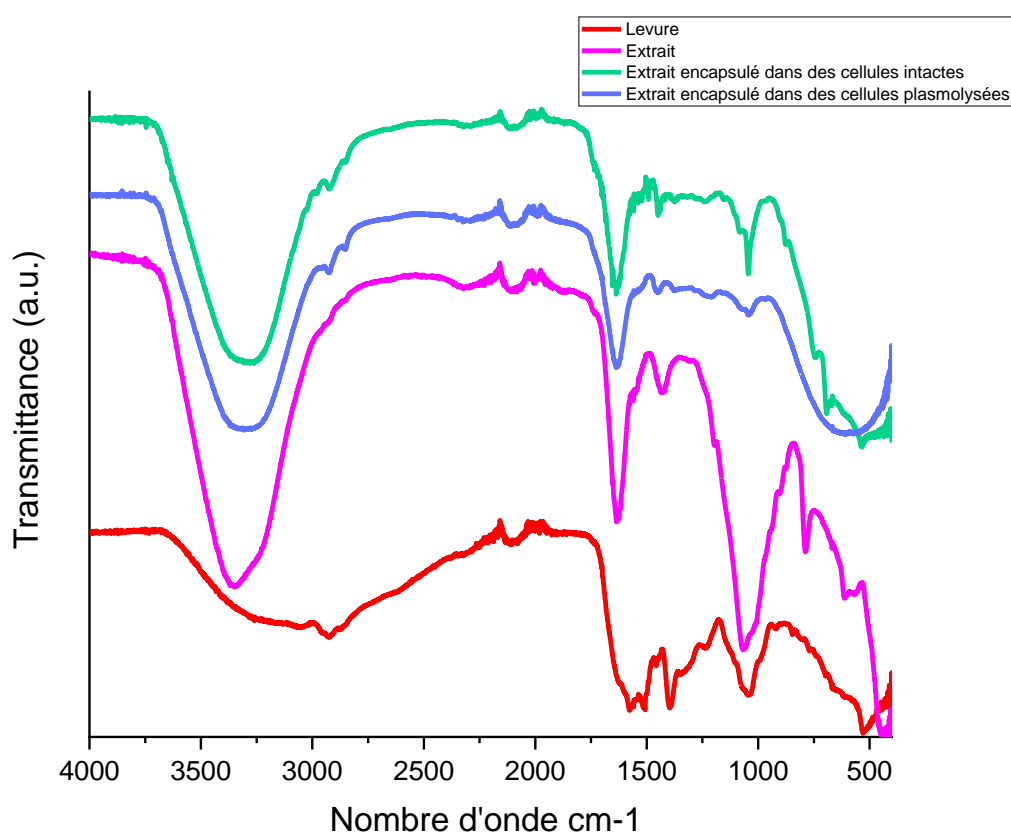


Figure 11: l'analyse du FTIR

Résultats et discussion

Le spectre FTIR des cellules de levure est présenté dans la figure 13. Deux régions spectrales sont caractéristiques des polysaccharides : la région des sucres (950-1200 cm^{-1}) et la région des anomères (750-950 cm^{-1}) (**Hromádková et al., 2003**). Une bande autour de 1420 cm^{-1} est également caractéristique du β -glucane et celle d'environ 1080 cm^{-1} est probablement due au glycogène (**Bzducha-Wróbel et al., 2014**). Les pics entre 1600 et 1800 cm^{-1} correspondent à des groupes fonctionnels des protéines, tels que les liaisons amides et les cycles aromatiques. Les pics indiquent également la présence de chitine, un composant mineur de la paroi cellulaire de la levure (**Piotrowska et Masek, 2015**). Cependant, l'absorption dans la plage spectrale entre 1622 et 1684 cm^{-1} pourrait également être influencée par les vibrations des bases d'acides nucléiques (**Bányay et al., 2003**). Les bandes dans la plage spectrale d'environ 3650-3200 cm^{-1} et 2985-3015 cm^{-1} indiquent respectivement les vibrations d'étirement des groupes hydroxyle ou NH protéique et des résidus lipidiques (**Bzducha-Wróbel et al., 2014**).

Les spectres FT-IR des extraits phénoliques sont cohérents avec les rapports de la littérature. Plusieurs bandes d'absorption ont été identifiées. Les bandes d'absorption à 3501 cm^{-1} et 1620 cm^{-1} sont liées aux vibrations d'étirement des liaisons phénoliques O-H et C-H, respectivement. Les cycles de benzène de la molécule de curcumine présentent des bandes à 1604 cm^{-1} , dues à l'étirement aromatique C=C, à 1269 cm^{-1} , dues à la vibration d'étirement aromatique C-O, et à 960 cm^{-1} , liées à la vibration aromatique C-H. Les bandes d'absorption autour de 1026 cm^{-1} et 810 cm^{-1} sont attribuées à la vibration d'étirement C-O-C et à la flexion C=C, respectivement. Les vibrations de flexion des liaisons oléofiniques C-H peuvent être liées à la bande d'absorption à 1427 cm^{-1} . La présence d'étirement et de vibrations C=O est remarquée par les bandes à 1620 cm^{-1} et 1504 cm^{-1} , qui indiquent également des vibrations C=C (**Paramera et al., 2011 ; Jafari et al., 2016 ; Xie et al., 2019**).

Les extraits encapsulés ont révélé la présence d'une bande d'absorption significative à 3315 cm^{-1} , principalement attribuée à la vibration d'étirement O-H des groupes hydroxyle des composés phénoliques et des glucides, avec une possible contribution de la vibration N-H des levures (**Mohsin et al., 2019**). La fréquence et la largeur de cette bande à 3315 cm^{-1} indiquent des interactions de liaison hydrogène intermoléculaires pour les groupes hydroxyle (**Coates et al., 2006**). Une bande d'absorption à 2930 cm^{-1} a été observée, attribuée aux vibrations d'étirement C-H provenant de la levure. La bande à 1705 cm^{-1} correspond à l'étirement CO, révélant la présence de groupes carbonyle. La vibration à 1610 cm^{-1} avec une épaulement à 1570 cm^{-1} est le résultat de chevauchements de bandes, incluant des liaisons C=C-C des cycles aromatiques, des liaisons C=N et C=C, ainsi que des contributions possibles de groupes amide ou carboxylate dans cette région spectrale. Dans la région de 1450 à 1300 cm^{-1} , plusieurs bandes ont été observées, principalement dues aux vibrations de flexion CH et OH. L'intensité à 1210 cm^{-1} est partiellement attribuée à

Résultats et discussion

l'étirement C-O (phénol), tandis que les bandes prédominantes dans la région 1150-1000 cm^{-1} sont attribuées aux étirements C-C et C-O des groupes ester alkyle, éther, méthoxy et alcool (**Oracz et Zyzelewicz, 2019**). Cependant, ces bandes ont disparu lors de l'encapsulation. La disparition des bandes d'absorption FTIR lors de l'encapsulation peut être expliquée par l'interaction avec la matrice d'encapsulation : lors de l'encapsulation, il peut y avoir des interactions entre le matériau encapsulé et la matrice d'encapsulation. Ces interactions peuvent modifier les propriétés moléculaires du matériau encapsulé, ce qui peut entraîner des changements dans ses bandes d'absorption FTIR. Par exemple, des interactions telles que des liaisons hydrogène, des interactions électrostatiques ou des interactions chimiques peuvent se produire, ce qui peut modifier les fréquences ou les intensités des bandes d'absorption (**Salmon, 2006**).

3.Effet de la microencapsulation sur de l'activité antioxydante

La détermination de l'activité antioxydante a été réalisée par deux méthodes : DPPH et ABTS. Les résultats de l'activité antioxydante sont exprimés par la valeur de IC_{50} (mg/ml). Les IC_{50} obtenus sont montrés dans le tableau :

Tableau 3 : valeur d' IC_{50} (mg/ml)

	IC_{50} DPPH(mg/ml)	IC_{50} ABTS (mg/ml)
Extrait	0.62 ± 0.8^c	0.18 ± 0.58^a
Levures plasmolysées	0.85 ± 0.78^a	0.10 ± 0.48^b
Levures intactes	0.80 ± 0.58^b	0.10 ± 0.58^b

Le DPPH a révélé une différence significative entre les IC_{50} des extraits et les deux types de microcapsules de levure (intactes et plasmolysées). L'encapsulation a entraîné une diminution de l'activité antioxydante. Les capsules intactes ont affiché la plus haute activité, avec une IC_{50} de $0,80 \pm 0,58$ mg/ml, tandis que les cellules plasmolysées ont présenté une IC_{50} de $0,85 \pm 0,78$ mg/ml. Cette différence peut être expliquée par une étude menée par **Karaman (2021)**, qui suggère que la plasmolyse entraîne la perte de composants cellulaires tels que les protéines et les polysaccharides qui possèdent des activités antioxydantes. Cela rend la cellule de levure vide, améliorant ainsi sa capacité de charge, mais en diminuant son activité antioxydante. De plus, la nature des composés encapsulés peut également expliquer ces résultats. Il est important de souligner que les flavonoïdes et les tanins, qui ont été mieux retenus dans les cellules intactes par rapport aux cellules plasmolysées, sont connus pour leur puissant pouvoir de piégeage des radicaux libres, comme l'a confirmé une étude menée par **Malgorzata et Justyna (2022)**. Cette étude a mis en évidence

Résultats et discussion

l'activité antioxydante significative de ces composés. De plus, il est bien établi que l'activité antioxydante est positivement corrélée à la structure des polyphénols. En général, les polyphénols comportant un nombre élevé de groupements hydroxyles manifestent la plus forte activité antioxydante.

En ce qui concerne la méthode ABTS, l'encapsulation a significativement amélioré l'activité antioxydante, sans toutefois observer de différence entre les deux types de microcapsules (intactes et plasmolysées). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **Elsa *et al.*, (2016)**, qui ont également constaté une augmentation de l'activité antioxydante en utilisant la méthode ABTS. Cette amélioration peut être attribuée à la synergie entre l'activité antioxydante des polyphénols et celle des levures. En effet, il a été découvert que *Saccharomyces* est capable d'absorber les composés phénoliques présents dans son environnement, ce qui augmente son activité antioxydante et sa teneur en composés phénoliques.

En résumé, nos résultats suggèrent une forte activité antioxydante lors de l'utilisation de la méthode ABTS, tandis que la méthode DPPH présente une activité variable en fonction des conditions expérimentales. Cette différence indique une activité antioxydante plus élevée de l'ABTS par rapport au DPPH. Les résultats divergents obtenus avec les méthodes DPPH et ABTS peuvent s'expliquer par les différences dans les milieux réactionnels utilisés. En effet, le test DPPH est réalisé dans un milieu composé de solvants organiques, tandis que le test ABTS est effectué dans un milieu aqueux. De plus, il est important de prendre en compte la solubilité des flavonoïdes dans ces deux milieux. Certains composés bioactifs peuvent ne pas être solubles dans les milieux réactionnels, ce qui peut affecter leur capacité à éliminer les radicaux (**Floegel *et al.*, 2011**).

Conclusion

Conclusion

L'objectif de cette étude est de tester les effets de la microencapsulation par les cellules de levure sur les composés phénoliques et l'activité antioxydante du pissenlit (*Taraxacum officinale*). L'encapsulation a induit une diminution de la concentration des composés phénoliques. Les cellules de levure plasmolysées ont montré une rétention accrue des polyphénols totaux par rapport aux cellules intactes, tandis que les cellules intactes ont mieux conservé les flavonoïdes et les tanins. L'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode DPPH a révélé une diminution de celle-ci suite à l'encapsulation, tandis que la méthode ABTS a montré une augmentation de l'activité antioxydante. Ces résultats préliminaires fournissent des indications pour orienter les futures analyses visant à optimiser les niveaux de composés phénoliques et leurs activités biologiques. Cependant, il serait intéressant de mener des études plus approfondies afin de :

- Étudier en profondeur les mécanismes d'encapsulation des composés phénoliques dans les cellules de levures.
- Optimiser les méthodes d'encapsulation en explorant différentes techniques de préparation des cellules de levures et en ajustant les paramètres expérimentaux.
- Caractériser de manière approfondie les propriétés physico-chimiques des capsules, notamment leur stabilité, leur libération contrôlée et leur biodisponibilité.
- Évaluer les effets biologiques des composés phénoliques encapsulés, tels que leur activité antioxydante, anti-inflammatoire, anticancéreuse et autres activités potentielles, à l'aide d'études in vitro et in vivo.
- Explorer les applications potentielles des capsules de levure contenant des composés phénoliques dans l'alimentation, la médecine et les cosmétiques, en évaluant leur efficacité et leur sécurité dans ces domaines spécifiques.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- Abideen Z ,Mumtaz M,Akhtar M, Saari N ,Touqeer T,Moukhtar H , Raza SA(2020) Attributs anti-obésité ; UHPLC-QTOF-MS/MS-Based Metabolite Profiling and Molecular Docking Insights of *Taraxacum officinale*. 25 (21), 4935.
- AkerstromB , Maghzal C , Winterboun C and Kettle A(2007). The lipocalin-1-Microglobulin Has Radical Scavenging Activity. The Journal of Biological Chemistry. 282(43): 31493-3150.
- Amić D, Davidović-Amić D, Bešlo D et Trinajstić N (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta* 76 (1), 55-61.
- Amin Mir, Sawhney M et Jassal S (2015). In-vitro antidiabetic studies of various and the In Vitro methods used for their assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 148–173.
- Aniket Kalkumbe, Santosh Waghmare, Hemant Kamble (2022) .Department Of Pharmaceutics, Loknete Shri Dadapatil Pharate College Of Pharmacy, Mandavgan Pharata, Tal- Shirur Dist. Pune Maharashtra, India. Microencapsulation: a review. Volume:04.
- Anwar S, Kunz B (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying, *J. Food Eng.*, 105, 367–378.
- Anwar S, Kunz B (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying, *J. Food Eng.*, 105, 367–378.
- Arakawa H, Maeda M, Okubo S, Shimamura T (2004). Role of hydrogen peroxide in bactericidal action of catechin. *Biol. Pharm. Bull*, 27, 277.
- Aremu O, Oyedeji A, Oyedeji O, Nkeh-Chungag et Rusike (2019). Propriétés antioxydantes in vitro et in vivo de *Taraxacum officinale* chez des rats hypertendus induits par l'ester méthylique de N ω -Nitro -L -Arginine (L-NAME).8 (8), 309 ; <https://doi.org/10.3390/antiox8080309>.
- Aremu o,Oyedeji O,Nkeh-Chungag N,Sewani RusikeR (2019). Vitro and In Vivo Antioxidant Properties of *Taraxacum officinale* in N ω -Nitro-lArginine Methyl Ester (L-NAME)-Induced Hypertensive Rats. *Antioxidants (Basel)*, 15,8(8),309.
- Baba Aissa K (2011). L'effet comparé de deux bio pesticides formulés sur Tuta absoluta et sur une gamme de champignons phytopathogènes. Magister Université Blida-Algérie.
- Bahorun T (1997). Substances naturelles actives: La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle, *Food and Agricultural Research Council*, 83-94.

Références Bibliographiques

- Bandaipheth, C., & Kennedy, J. F. (2004). Encyclopedia of Common Natural Ingredients used in Food, Drugs and Cosmetics -AY Leung, S. Foster (Eds.); Wiley-Interscience, Hoboken, NJ, USA, 2003, xxxv+ 649 pages, ISBN 0-471-47128-3, @ \$96.95. *Carbohydrate Polymers*, 2(58), 222.
- Banyay M, Sarkar M, Gräslund A (2003) .A library of IR bands of nucleic acids in solution. *BiophysChem* 104:477–488
- Bekhaled imene (2021). Intérêt du dosage sérique et urinaire dans le diagnostic et suivi du myélome multiple et évaluation de l'activité anti-myéломateuse du pissenlit (*taraxacum officinale*) chez le rat wistar. Université djillali liabes Faculté des sciences De la nature et de la vie sidi bel abbes.
- Benabdejilil B, Dogaru D, Poiana M, TracaT I (2018). Preliminary aspects regarding the antioxidant activity of someunconventional plants for food applications. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 24(4), 311-316.
- Bénard C (2009). Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture.(these doctorat).
- Bernaert H, Allegaert L(2009).Topical Skin Cosmetics Comprising a Cocoa Polyphenol Extract Combination with SUS-Rich Fat. *Fat. U.S. Patent 2009/0233518 A1*, 22 October 2009.
- Bhattacharya A, Sood P, Citovsky V(2010). The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection. *Mol. Plant Pathol.* , 11, 705–719.
- Bile, J. (2015). *Microencapsulation d'agent antimicrobien pour le développement de conditionnements primaires fonctionnalisés* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
- Bishop J, Nelson G, Lamb J (1998). Microencapsul dans des cellules de levure15(6), 761–773 .
- Blois M (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199–1200.
- Borchardt J, Wyse D, Sheaffer C, Kauppi K, Fulcher R, EhlkeN ,Biesboer D et Bey R(2008). Antioxidant and antimicrobial activity of seed from plants of the Mississippi river basin. *J. Med. Plants Res.* , 2, 81–93.
- Boubekri Chérifa (2014). Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanummelongena* par des techniques électrochimiques. Eprint_fieldopt_thesis_type_phd not definedthesis, Université Mohamed Khider Biskra-Algérie, (thèse de doctorat).

Références Bibliographiques

- Bougandoura N et Bendimerad N (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technologie*, (9), 14 – 19.
- Bruneton J (2009). *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales* (4e éd.). Paris, France : Lavoisier (livre).
- Bzducha-Wróbel A, Błażej S, Kawarska A, Stasiak-Różańska L, Gientka I et Majewska E (2014). Evaluation of the efficiency of different disruption methods on yeast cell wall preparation for β -glucan isolation. *Molecules* 19:20941–20961.
- Cegledi, Ena, Ivona Elez Garofulić, Zoran Zorić, Marin Roje, and Verica Dragović-Uzelac (2022). "Effect of Spray Drying Encapsulation on Nettle Leaf Extract Powder Properties, Polyphenols and Their Bioavailability" *Foods* 11, no. 18: 2852.
- Champagne C et Fustier P (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compound into foods, *Current opinion in biotechnology*, 18, 184 ,190.
- Chang C, Yang, M, Wen H et Chern J (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182.
- Chaouch T (2014). Contribution à l'étude des activités anti oxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales (Thèse de doctorat). Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- Chávarri M, Marañón I, Ares R, Ibáñez F, Marzo F et Villarán M (2010). Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate– chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions, *Int. J. Food Microbiol.*, 142, 185–189.
- CHEBIL L (2006). Acylation des flavonoïdes par les lipases de *Candida antarctica* et de *Pseudomonas cepacia* : études cinétique, structurale et conformationnelle. Thèse de Doctorat : Institut national polytechnique de LORRAIN Netherlands, 23–24.
- Chevalier y (2014). Microencapsulation par coacervation complexe des protéines du lactosérum et de la gomme d'acacia Microencapsulation par coacervation complexe des protéines du lactosérum et de la gomme d'acacia question (Thèse de doctorat). Université Claude Bernard Lyon.
- Ciucure C, Şandru D, Lengyel E, Iancu R et Tiş O (2016). Identification and quantification of tannins and anthocyanins from plants with bioactive potential. *Advances in biotechnology. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference, SGEM*, 1, 575-581.

Références Bibliographiques

- Collin S et Crouzet J (2011). Polyphénols et procédés : Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agroalimentaire. Paris, France : Lavoisier Tec et Doc Rev. 47, 777-780.
- Coradello Giulia and Nicola Tirelli (2021). Yeast Cells in Microencapsulation. General Features and Controlling Factors of the Encapsulation Process. Department of Chemistry and Industrial Chemistry, University of Genova, Via Dodecaneso 31, 16146 Genova, Italy.
- Craft B, Kerrihard A, Amarowicz R et Pegg R (2012). Antioxydants à base de phénol et méthodes *in vitro* utilisées pour leur évaluation vol (11), Numéro 2 Pages 148-173.
- D'Archivio M, Filesi C, Di Benedetto R, Gargiul R, Giovannini C et Masella R (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*. 43(4), 348–361.
- Dai J et Mumper R (2010). Plant Phenolics : Extraction, Analysis and Their Antioxydant and Anticancer Properties. *Molecules* 15(10), 7313-52.
- Dewick P (1995). The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural Product Reports*, 12(6), 579- 607.
- Dicko M, Gruppen H, Traoré A , Voragen A et Van Berkel W (2006). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 1 (1), 21-38.
- Diego-Taboada A, Maillet L, Banoub J, Lorch M, Rigby A, Boa A et Mackenzi G(2013). Protein free microcapsules obtained from plant spores as a model for drug delivery: Ibuprofen encapsulation, release and taste masking, *J. Mater. Chem.*, 1, 707–713.
- djabbrov bakhtiyor iskandarovich, jaborova aziza bakhtiyor kizi (2022). medicinal dandelion-taraxacum, 02.30-34.
- Duclairoir C, Orecchioni A, Depraetere P et Nakache E(2002). α -Tocopherolencapsulation and in vitro release from wheat gliadin nanoparticles, *J. Microencapsul.*, 19, 53–60.
- Elsa Fvieira, Joana Carvalho, Edgar Pinto (2016) .Valeur nutritive, activité antioxydante et profil des composés phénoliques de l'extrait de levure de bière épuisée. *Journal de la composition et de l'analyse des aliments* .Tome 52, septembre, Pages 44-51.
- Erkan N, Ayranci G et Ayranci E(2000). Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, car, noisic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food chemistry*. 110: 76-82.
- extracts of *Taraxacum officinale*. *The Pharma Innovation Journal* 2015 ; 4(1): 61-66.

Références Bibliographiques

- Fidler M, kolářová I (2009). Analýza antioxidant v chmelu a pivu. In *Chemické listy*, vol. 103, p. 232.
- Fonyuy E Wirngo, Max N Lambert, Per B Jeppesen (2016) The Physiological Effects of Dandelion (*Taraxacum Officinale*) in Type 2 Diabetes. Summer-Fall; 13(2-3): 113– 131.
- Fraga C (2007). Plant polyphenols : How to translate their *in vitro* antioxidant actions to *in vivo* conditions. *IUBMB Life* 59(4-5), 308-315
- Freiberg S, Zhu X (2004). Polymer microspheres for controlled drug release, *Int. J. Pharm.*, 282, 1–18.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised
- Ghedadba, N., Bousselsela, H., Hambaba, L., Benbia, S., & Mouloud, Y. (2014). Évaluation de l'activité antioxydante et antimicrobienne des feuilles et des sommités fleuries de *Marrubium vulgare* L. *Phytothérapie*, 12(1), 15-24.
- Gianmaria F. Ferrazzano ,Ivana Amato ,Aniello Ingenito ,Armando Zarrelli,Gabriele Pinto ,Antonino Pollio(2011). Plant Polyphenols and Their Anti-Cariogenic Properties: A Review.*Molecules* 2011, 16(2), 1486-1507.
- Gonçalves, B., Moeenfarid, M., Rocha, F., Alves, A., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2017). Microencapsulation of a natural antioxidant from coffee—chlorogenic acid (3-caffeoylquinic acid). *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1521-1530.
- González-Castejón, M., Visioli, F., & Rodríguez-Casado, A. (2012). Diverse biological activities of dandelion. *Nutrition reviews*, 70(9), 534-547.
- Gormaz, J. G., Valls, N., Sotomayor, C., Turner, T., & Rodrigo, R. (2016). Potential role of polyphenols in the prevention of cardiovascular diseases: molecular bases. *Current medicinal chemistry*, 23(2), 115-128.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in food science & technology*, 15(7-8), 330-347.
- Han, J. Y., Choi, H. S., Jo, H. J., Jun, K. M., & Choi, Y. E. (2022). Heterologous production of multiple triterpenes, including taraxasterol, in transgenic tobacco overexpressing *Taraxacum coreanum* oxidosqualene cyclase (TcOSC1). *Plant Biotechnology Reports*, 16(5), 529-537.
- Handique, J. G., & Baruah, J. B. (2002). Polyphenolic compounds: an overview. *Reactive and Functional Polymers*, 52(3), 163-188.
- Hebi, M., & Eddouks, M. (2016). Évaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie*, 14(1), 17-22.

Références Bibliographiques

- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of nutritional biochemistry*, 13(10), 572-584.
- Hussain, T., Tan, B., Yin, Y., Blachier, F., Tossou, M. C., & Rahu, N. (2016). Oxidative stress and inflammation: what polyphenols can do for us?. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2016.
- Jafari, Y., Sabahi, H., & Rahaie, M. (2016). Stability and loading properties of curcumin encapsulated in *Chlorella vulgaris*. *Food Chemistry*, 211, 700-706.
- Karaman, K. (2021). Fabrication of gallic acid loaded yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) microcapsules: Effect of plasmolysis treatment and solvent type on bioactivity and release kinetics. *LWT*, 148, 111640.
- Kavosi, M., Mohammadi, A., Shojaee-Aliabadi, S., Khaksar, R., & Hosseini, S. M. (2018). Characterization and oxidative stability of purslane seed oil microencapsulated in yeast cells biocapsules. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2490-2497.
- Khazai, V., Piri, K., Nazeri, S., Karamian, R., & Zamani, N. (2011). Free Radical Scavenging Activity and Phenolic and Flavonoid. *Asian J Med Pharm Res*, 1(1), 09-11.
- Khoudali, S., Benmessaoud, D., Essaqui, A., Zertoubi, M., Azzi, M., & Benaissa, M. (2014). Etude de l'activité antioxydante et de l'action anti corrosion de l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain (*Chamaerops humilis* L.) du Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(3), 887-898.
- Korber DRA, Choi G M, Wolfaardt D E, ApplC(1996) . La plasmolyse bactérienne comme indicateur physique de viabilité.vol 62 n11
- Kumar, V., Sharma, A., Kohli, S. K., Bali, S., Sharma, M., Kumar, R., ... & Thukral, A. K. (2019). Differential distribution of polyphenols in plants using multivariate techniques. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(1), 1-21.
- Kurek, M. A., Majek, M., Onopiuk, A., Szpicer, A., Napiórkowska, A., & Samborska, K. (2023). Encapsulation of anthocyanins from chokeberry (*Aronia melanocarpa*) with plasmolyzed yeast cells of different species. *Food and Bioproducts Processing*, 137, 84-92.
- Leclercq, S., Milo, C., & Reineccius, G. A. (2009). Effects of cross-linking, capsule wall thickness, and compound hydrophobicity on aroma release from complex coacervate microcapsules. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1426-1432.

Références Bibliographiques

- Lenoir, L. (2011). *Effet protecteur des polyphénols de la verveine odorante dans un modèle d'inflammation colique chez le rat* (Doctoral dissertation, Université d'Auvergne-Clermont-Ferrand I).
- Li, J., Luo, J., Chai, Y., Guo, Y., Tianzhi, Y., & Bao, Y. (2021). Hypoglycemic effect of *Taraxacum officinale* root extract and its synergism with *Radix Astragali* extract. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 2075-2085.
- Link, A., Balaguer, F., & Goel, A. (2010). Cancer chemoprevention by dietary polyphenols: promising role for epigenetics. *Biochemical pharmacology*, 80(12), 1771-1792.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques
- Mahboubi, M., & Mahboubi, M. (2020). Hepatoprotection by dandelion (*Taraxacum officinale*) and mechanisms. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 10(1), 1.
- Małgorzata Kania-DobrowolskaJustyna Baraniak (2022). Le pissenlit (*Taraxacum officinale* L.) en tant que source de composés biologiquement actifs soutenant la thérapie des maladies coexistantes dans le syndrome métabolique *Aliments* 2022 , 11 (18),2858 ; <https://doi.org/10.3390/foods11182858>.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.
- Marcus, A. C., Edori, O. S., & Maduagu, M. C. (2019). Phytochemical and Anti-microbial Screening of *Phyllanthus fraternus* and *Taraxacum officinale* Leaves. *Biochem Anal Biochem*, 8(376), 1009-2161.
- Mariod, A. A., Ibrahim, R. M., Ismail, M., & Ismail, N. (2010). Antioxidant activities of phenolic rich fractions (PRFs) obtained from black mahlab (*Monechma ciliatum*) and white mahlab (*Prunus mahaleb*) seedcakes. *Food Chemistry*, 118(1), 120-127.
- Marsanasco, M., Márquez, A. L., Wagner, J. R., Alonso, S. D. V., & Chiaramoni, N. S. (2011). Liposomes as vehicles for vitamins E and C: An alternative to fortify orange juice and offer vitamin C protection after heat treatment. *Food research international*, 44(9), 3039-3046.
- Merlin M. (2015). La consommation de polyphénols, en particulier de vin rouge, peut-elle avoir des effets sur la maladie d'Alzheimer : État de la question (Thèse de doctorat). Université de Bordeaux.
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical science (London, England: 1979)*, 84(4), 407-412.

Références Bibliographiques

- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarín J. sci. technol*, 26(2), 211-219
- Morales, I. J. L., Flores, D. E. A., Andamayo, D. E. C., & Yllescas, V. A. J. (2021). Evaluación preliminar de 10 plantas medicinales del Valle del Mantaro mediante el método cualitativo (fitoquímico) para uso farmacéutico. *Visionarios en ciencia y tecnología*, 6(1), 38-48.
- Morris, G. J., Winters, L., Coulson, G. E., & Clarke, K. J. (1986). Effect of osmotic stress on the ultrastructure and viability of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbiology*, 132(7), 2023-2034.
- Navarro, F. P., Berger, M., Guillermet, S., Josserand, V., Guyon, L., Neumann, E., ... & Texier, I. (2012). Lipid nanoparticle vectorization of indocyanine green improves fluorescence imaging for tumor diagnosis and lymph node resection. *Journal of biomedical nanotechnology*, 8(5), 730-741.
- Nguyen, T. T., Phan-Thi, H., Pham-Hoang, B. N., Ho, P. T., Tran, T. T. T., & Waché, Y. (2018). Encapsulation of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins as natural colours in yeast. *Food research international*, 107, 275-280.
- Normand, V., Dardelle, G., Bouquerand, P. E., Nicolas, L., & Johnston, D. J. (2005). Flavor encapsulation in yeasts: limonene used as a model system for characterization of the release mechanism. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(19), 7532-7543.
- Okada, H. (1997). One- and three-month release injectable microspheres of the LH-RH superagonist leuprorelin acetate. *Advanced drug delivery reviews*, 28(1), 43-70.
- Okamura, H., Mimura, A., Yakou, Y., Niwano, M., & Takahara, Y. (1993). Antioxidant activity of tannins and flavonoids in *Eucalyptus rostrata*. *Phytochemistry*, 33(3), 557-561.
- Olszowy, M. (2019). What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants?. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 135-143.
- Paramera, E. I., Konteles, S. J., & Karathanos, V. T. (2011). Microencapsulation of curcumin in cells of *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chemistry*, 125(3), 892-902.
- Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., & Andrade, P. B. (2009). Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules*, 14(6), 2202-2211.
- Pimentel-Moral, S., Teixeira, M. C., Fernandes, A. R., Arráez-Román, D., Martínez-Férez, A., Segura-Carretero, A., & Souto, E. B. (2018). Lipid nanocarriers for the loading of polyphenols—A comprehensive review. *Advances in colloid and interface science*, 260, 85-94.
- Piotrowska, M., & Masek, A. (2015). *Saccharomyces cerevisiae* cell wall components as tools for ochratoxin A decontamination. *Toxins*, 7(4), 1151-1162.

Références Bibliographiques

- Poncelet D (2006). Microencapsulation: fundamentals, methods and applications , Surface chemistry in biomedical and environmental science, Springer. J.P. Blitz and V.M. Gun'ko (eds.), Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science, 23-34
- Popovici C, Saykova I et Tylkowskib (2010). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. Revue de Génie Industriel, (4), 1– 8.
- PORTES E (2008). Synthèse et études de tétrahydrocurcuminoïdes : propriétés photochimiques et antioxydantes, applications à la préservation de matériaux d'origine naturelle. (Thèse Doctorat) : Université de BORDEAUX I.
- Prajakta N, Dongare, Tejashri B, Kadu, Ashish L. Pohane, Sachin J, Dighade and Priyadarshani G(2021). Patil VYWS'S Institute of Pharmacy and Research, Badnera, Amravati. 444701 Maharashtra, India. World Journal of Advanced Research and Reviews, , 12(02), 212–218.
- Price M L, Van Scoyoc S et Butler L G (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. Journal of agricultural and food chemistry, 26(5), 12
- Rashidi, I., Rashtiani, N., Pazhouhi, M., Ghanbari, A., Zhaleh, M., & Jalili, C. (2022). Anti-invasion and anti-metastasis effects of dandelion (*Taraxacum officinale*) hydroalcoholic extract on glioblastoma multiforme cell line model. *WCRJ*, 9, e2361. 14-1218.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. & Rice-Evans C (1999). Antioxydant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Science Inc. 26:1231-1237
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* , 26, 1231 .
- Richard, J., Benoit, J.P. (2000). Microencapsulation. *Techniques de l'Ingénieur*, J 2210, p 1-20.
- Robert, D. et Catesson, A. M. (2000). Encapsulation of polyphenols e a review *Biologie végétale caractéristiques et stratégie évolutives des plantes. Organisation végétative.* Wolters Kluwer France Edition, Volume 2, p 320. Zhongxiang Fanga, and Bhandaria., 2010a School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland, Brisbane, Qld 4072, Australia b School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China (School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland, Brisbane, Qld 4072, Australia. Tel.: D61 7 33469187 .

Références Bibliographiques

- Robert, P.; Gorena, T.; Romero, N.; Sepulveda, E.; Chavez, J.; Saenz, C.(2010)Encapsulation of Polyphenols and Anthocyanins from Pomegranate (*Punicagranatum*) by Spray Drying. *Int. J. Food Sci. Technol.* , 45, 1386–1394.
- Rodriguez-Bernaldo, A. Q. F. S., Frecha, P. A., Vidal., & Lopez, H. J. (2010). Antioxydant compounds in ediblebrownseeds. *European Food Research & Technology*, 231 (3), 495 – 498
- Rolo-Naranjo, A., Rebollido-Rios, R., Melchor-Rodriguez, K., Codorniu-Hernández, E. (2009). Pseudo-phase portrait applied to pattern recognition in flavonoid–protein interactions. *Applied Mathematics and Computation* 215, 156–167.
- RongWang, Weihua Li , Cao Fang1, Xinxin Zheng, Chao Liu1, et Qing Huang(2023).Extraction and identifcation of new favonoid compounds in dandelion *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz. with evaluation of antioxidant activities. *Scientific Reports*, 13:21.
- S´wieca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Baraniak, B. &Czyż, J. (2013). The influence of protein–flavonoid interactions on proteindigestibility in vitro and the antioxidant quality of breadsenriched with onion skin. *Food Chemistry* 141, 451–458 .
- Sala A, Spalding K, Ashton K, Board R, Butler H, Dawson T (2020). Rapid analysis of disease state in liquid human serum combining infrared spectroscopy and“digital drying”. *J Biophotonics* ;13:e202000118.
- Salari R, Fazly BS , Khashyarmanesh Z(2013) New aspects of *Saccharomyces cerevisiae* as a novel carrier for berberine. *DARU J. Pharm. Sci.* , 21, 73
- Salmon J M (2006). Interactions between yeast, oxygen and polyphenols during alcoholic fermentations: Practical implications. *LWT-Food Science and Technology*, 39(9), 959-965.
- Sánchez-Vioque, R., Polissiou, M., Astraka, K., Mozos-Pascual, M. de los, Tarantilis, P., Herraiz-Peñalver, D., and Santana-Méridas, O. (2013). Polyphenol composition, antioxidant, and metalchelating activities of the solidresidues from the essential oil industry. *Industrial Crops and Products*. 49, 150-159.
- Scherrer R., Louden L., Gerhardt P., *Bacteriol J.*(1974) Porosity of the Yeast Cell Wall and Membrane. *JOURNAL OF BACTERIOLOGY*, M(118), 534 .
- Schlesier, K., Harwat, M., Bohm, V. &Bitsch, R(2002). Assessment of antioxidant activity by using different invitro methods. *Free Radical Research*, 36:177-187.
- Schmidt M (1979). The delightful dandelion. *Organic Gard.* article de revue26:112–117.
- Seo S, Koo H, An H, Kwon K, Lim B, Seo E, Ryu D, Moon G, Kim H, Kim H, Hong SH(2005). *Taraxacum officinale* protectsagainstcholecystokinin-induced acute pancreatitis in rats. *World J Gastroenterol.*;11(4):597–599.

Références Bibliographiques

- Shi G, Rao L, Yu H, Xiang H, Pen G, Long, S (2007). Yeastcell-based microencapsulation of chlorogenic acid as a water-soluble antioxidant. *Journal of Food Engineering*, 80, 1060e1067.
- Siow LF, Ong CS (2013). Effect of pH on Garlic Oil Encapsulation by Complex Coacervation, *J. Food Process. Technol.*, 4, 1–9.
- Snigh M N, Hemant k, Ram M and shivakumar H G (2010). microencapsulation :A promising technique for controlled drug delivery ;5(2) ;65-77.
- Sökmen1 B B, Aydın S. &Kınalıoğlu K. (2012). Antioxidant and antibacterial properties of a lichen species *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman. *IUFS Journal of Biology* 71(1), 43-51.
- Sophie Rabeau (2009). Étude d'un procédé continu de microencapsulation basé sur un micromélangeur (Thèse de doctorat). Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine,. Français. ffNNT : 2009INPL096Nff. fftel01748744f.
- Specos JJ, Garcia J, Tornesello P, Marinoa(2010), Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles JOURNAL ARTICLE Volume 104, Issue 10.
- Specos M M, Garcia JJ, Tornesello J, Marinoa P, Vecchia MD, Tesoriero MVD, Hermida LG(2010). Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 104, 653–658.
- Stevanović M, Savić J, Jordović B, Uskoković D(2007). Fabrication, in vitro degradation and the release behaviours of poly(DL-lactide-co-glycolide) nanospheres containing ascorbic acid, *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 59, 215–223.
- Stewart-Wade S M S, Neumann L L, Collins, and G J, Boland (2023) The biology of Canadian weeds. 117. *Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wiggers | Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada N1G 2W1; 2Department of Plant Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada N6A 5B7. Received 23 January 2001, accepted 18 June 2002, p 1.
- TĂNASĂ, M. V., NEGREANU-PÎRJOL, T., CHIFIRIUC, C., POPOVICIU, D. R., ANGHEL, L., & ROȘOIU, N. (2022). Preliminary Data Regarding Polyphenols, Carotenoids and Flavonoids Content Correlated with Antioxidant Activity of Some *Taraxacum* Sp. Fluid Extracts.
- Torres A, alver P, Morales J C (2007) Synthesis and evaluation of new phenolic-based antioxidants: structure-activity relationship. *Food Chem*, 103, 55–61.
- Tsao R (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients* 2, 1231-1246.

Références Bibliographiques

- Vauzour D, Rodriguez-Mateos A, Corona G, Oruna-Concha MJ, Spencer J PE. (2010). Polyphenols and Human Health: Prevention of Disease and Mechanisms of Action. *Nutrients*, 2(11), 1106-1131.
- W Kisiel, Barszcz B (2000). Further sesquiterpenoids and phenolics from *Taraxacum officinale*. *Fitoterapia*. 71(3): 269-73.
- Wasowski C, Loscalzo L M, Marder M (2013). Neuropharmacology In vitro bindingaffinities of a series of flavonoids for m-opioidreceptors. Antinociceptive effect of the synthetic flavonoid 3,3-dibromoflavanone in mice72.7.19.
- Waterhouse A (1999). Folin-Ciocalteu Micro Method for Total Phenol in Wine. *Food Anal. Chem.* , 299, 152–178.
- Williams CA, Goldstone F, Greenham J (1996). Flavonoids, cinnamic acids and coumarins from the different tissues and medicinal preparations of *Taraxacum officinale*. *Phytochemistry*.; 42: 121-127.
- Wirngo F.E., Lambert M.N., Jeppesen P.B. (2016). The Physiological Effects of Dandelion (*Taraxacum Officinale*) in Type 2 Diabetes. *RevDiabetStud* ,13(2-3),113-131
- Xie H, Xiang C, Li Y, Wang L, Zhang Y, Song Z, Ma X, Lu X, Lei Q,Fang W (2019) Fabrication of ovalbumin/ κ -carrageenancomplexnanoparticles as a novel carrier for curcumin delivery. *FoodHydrocoll* 89:111–121
- Kashiwada Y., Takanaka K., Tsukada H., Miwa Y., Taga T., Tanaka S. (2001). Sesquiterpene glucosides from anti-leukotriene B4 release fraction of *Taraxacum officinale*. *J Asian Nat Prod Res*; 3(3): 191-7
- Yoo S.H., Song Y.B., Chang P.S., Lee H.G(2006). Microencapsulation of α -tocopherol using sodium alginate and its controlled release properties, *Int. J. Biol. Macromol.*, 38, 25–30.
- Zalpoor, H., Akbari, A., Samei, A., Forghaniesfidvajani, R., Kamali, M., Afzalnia, A., ... & Seif, F. (2022). The roles of Eph receptors, neuropilin-1, P2X7, and CD147 in COVID-19-associated neurodegenerative diseases: inflammasome and JaK inhibitors as potential promising therapies. *Cellular & Molecular Biology Letters*, 27(1), 1-21
- Zhiheng Zhang ,Xiaojing Li, Shangyuan Sang, David Julian McClements,Long Chen, Jie Long, AiquanJiao,ZhengyuJin,Chao Qiu(2022) .Polyphenols as Plant-Based Nutraceuticals: Health Effects, Encapsulation, Nano-Delivery, and Application . *11*(15), 2189.
- Zhou Y, Zheng J, Li Y, Xu DP, Li S, Chen YM ,Li HB (2016). Natural Polyphenols for Prevention and Treatment of Cancer. *Nutrients*, 8(8), 515.

Références Bibliographiques

- Zlotnik H, Fernandez M.P, Bowers B, Cabib E, Bacteriol J (1984). Saccharomyces cerevisiae Mannoproteins Form an External Cell Wall Layer That Determines Wall Porosity 159, 1018 .