

**UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT  
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE – RABAT**

**ANNEE : 2018**

**THESE N° :71**

**LA MICROENCAPSULATION DES HUILES :  
MEILLEURE APPROCHE POUR LA VALORISATION  
DES PRODUITS ALIMENTAIRES ?**

**THESE**

*Présentée et soutenue publiquement le : .....*

**PAR**

**Mr. ABDALLAOUI Rachid**

*Né le 18 mars 1990 à Souk Larbaa*

**Pour l'Obtention Du Doctorat En Pharmacie**

**MOTS CLES :** Micoencapsulation, huile, matériau de membrane, conservation.

**MEMBRES DE JURY**

**Mr. M. ZOUHDI**

Professeur de Microbiologie

**PRESIDENT**

**Mr. A. LAATIRIS**

Professuer de Pharmacie Galénique

**RAPPORTEUR**

**Mme. S. TELLAL**

Professeur de Biochimie

**Mme. S. EL HAMZAOU**

Professeur de Microbiologie



**JUGES**

سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا

عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ

الْحَكِيمُ (البقرة: من الآية 32)

اللَّهُمَّ إِذَا نَسَأَلُكَ عِلْمًا زَانِعًا وَقَلْبًا

خَاشِعًا وَيَقِينًا حَادِقًا وَشِفَاءً مِنْ

كُلِّ دَاءٍ وَسَقَمٍ.





**UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT  
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT**

**DOYENS HONORAIRES :**

1962 – 1969 : Professeur Abdelmalek FARAJ  
1969 – 1974 : Professeur Abdellatif BERBICH  
1974 – 1981 : Professeur Bachir LAZRAK  
1981 – 1989 : Professeur Taieb CHKILI  
1989 – 1997 : Professeur Mohamed Tahar ALAOUI  
1997 – 2003 : Professeur AbdelmajidBELMAHI  
2003 – 2013 : Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI



**ADMINISTRATION :**

**Doyen** : Professeur Mohamed ADNAOUI  
**Vice Doyen chargé des Affaires Académiques et étudiantes**  
Professeur Mohammed AHALLAT  
**Vice Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération**  
Professeur Taoufiq DAKKA  
**Vice Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie**  
Professeur Jamal TAOUFIK  
**Secrétaire Général** : Mr. Mohamed KARRA

**1- ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS  
ET  
PHARMACIENS**

**PROFESSEURS :**

**Décembre 1984**

Pr. MAAOUNI Abdelaziz	Médecine Interne – <b><u>Clinique Royale</u></b>
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi	Anesthésie -Réanimation
Pr. SETTAF Abdellatif	pathologie Chirurgicale

**Novembre et Décembre 1985**

Pr. BENSAID Younes	Pathologie Chirurgicale
--------------------	-------------------------

**Janvier, Février et Décembre 1987**

Pr. CHAHED OUAZZANI Houria	Gastro-Entérologie
Pr. LACHKAR Hassan	Médecine Interne
Pr. YAHYAOUI Mohamed	Neurologie

**Décembre 1988**

Pr. BENHAMAMOUCHE Mohamed Najib	Chirurgie Pédiatrique
---------------------------------	-----------------------

Pr. DAFIRI Rachida

**Décembre 1989**

Pr. ADNAOUI Mohamed

Pr. CHAD Bouziane

Pr. OUAZZANI Taïbi Mohamed Réda

**Janvier et Novembre 1990**

Pr. CHKOFF Rachid

Pr. HACHIM Mohammed\*

Pr. KHARBACH Aïcha

Pr. MANSOURI Fatima

Pr. TAZI Saoud Anas

**Février Avril Juillet et Décembre 1991**

Pr. AL HAMANY Zaïtounia

Pr. AZZOUZI Abderrahim

Pr. BAYAHIA Rabéa

Pr. BELKOUCHI Abdelkader

Pr. BENCHEKROUN Belabbes Abdellatif

Pr. BENSOUA Yahia

Pr. BERRAHO Amina

Pr. BEZZAD Rachid

Pr. CHABRAOUI Layachi

Pr. CHERRAH Yahia

Pr. CHOKAIRI Omar

Pr. KHATTAB Mohamed

Pr. SOULAYMANI Rachida

Pr. TAOUFIK Jamal

**Décembre 1992**

Pr. AHALLAT Mohamed

Pr. BENSOUA Adil

Pr. BOUJIDA Mohamed Najib

Pr. CHAHED OUAZZANI Laaziza

Pr. CHRAIBI Chafiq

Pr. DEHAYNI Mohamed\*

Pr. EL OUAHABI Abdessamad

Pr. FELLAT Rokaya

Pr. GHAFIR Driss\*

Pr. JIDDANE Mohamed

Pr. TAGHY Ahmed

Pr. ZOUHDI Mimoun

**Mars 1994**

Pr. BENJAAFAR Noureddine

Radiologie

Médecine Interne – **Doyen de la FMPR**

Pathologie Chirurgicale

Neurologie

Pathologie Chirurgicale

Médecine-Interne

Gynécologie -Obstétrique

Anatomie-Pathologique

Anesthésie Réanimation

Anatomie-Pathologique

Anesthésie Réanimation – **Doyen de la FMPO**

Néphrologie

Chirurgie Générale

Chirurgie Générale

Pharmacie galénique

Ophtalmologie

Gynécologie Obstétrique

Biochimie et Chimie

Pharmacologie

Histologie Embryologie

Pédiatrie

Pharmacologie – **Dir. du Centre National PV**

Chimie thérapeutique **V.D à la pharmacie+**

**Dir du CEDOC**

Chirurgie Générale V.D Aff. Acad. et Estud

Anesthésie Réanimation

Radiologie

Gastro-Entérologie

Gynécologie Obstétrique

Gynécologie Obstétrique

Neurochirurgie

Cardiologie

Médecine Interne

Anatomie

Chirurgie Générale

Microbiologie

Radiothérapie



Pr. BEN RAIS Nozha  
Pr. CAOUI Malika  
Pr. CHRAIBI Abdelmjid

**Doyen de la FMPA**

Pr. EL AMRANI Sabah  
Pr. EL BARDOUNI Ahmed  
Pr. EL HASSANI My Rachid  
Pr. ERROUGANI Abdelkader  
Pr. ESSAKALI Malika  
Pr. ETTAYEBI Fouad  
Pr. HADRI Larbi\*  
Pr. HASSAM Badredine  
Pr. IFRINE Lahssan  
Pr. JELTHI Ahmed  
Pr. MAHFOUD Mustapha  
Pr. RHRAB Brahim  
Pr. SENOUCI Karima

**Mars 1994**

Pr. ABBAR Mohamed\*  
Pr. ABDELHAK M'barek  
Pr. BELAIDI Halima  
Pr. BENTAHILA Abdelali  
Pr. BENYAHIA Mohammed Ali  
Pr. BERRADA Mohamed Saleh  
Pr. CHAMI Ilham  
Pr. CHERKAOUI LallaOuafae  
Pr. JALIL Abdelouahed  
Pr. LAKHDAR Amina  
Pr. MOUANE Nezha

**Mars 1995**

Pr. ABOUQUAL Redouane  
Pr. AMRAOUI Mohamed  
Pr. BAIDADA Abdelaziz  
Pr. BARGACH Samir  
Pr. CHAARI Jilali\*  
Pr. DIMOU M'barek\*  
Pr. DRISSI KAMILI Med Nordine\*  
Anesthésie Réanimation  
Pr. EL MESNAOUI Abbes  
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila  
Pr. HDA Abdelhamid\*  
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed  
Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia

Biophysique  
Biophysique  
Endocrinologie et Maladies Métaboliques

Gynécologie Obstétrique  
Traumato-Orthopédie  
Radiologie  
Chirurgie Générale- **Directeur CHIS**  
Immunologie  
Chirurgie Pédiatrique  
Médecine Interne  
Dermatologie  
Chirurgie Générale  
Anatomie Pathologique  
Traumatologie – Orthopédie  
Gynécologie –Obstétrique  
Dermatologie

Urologie  
Chirurgie – Pédiatrique  
Neurologie  
Pédiatrie  
Gynécologie – Obstétrique  
Traumatologie – Orthopédie  
Radiologie  
Ophtalmologie  
Chirurgie Générale  
Gynécologie Obstétrique  
Pédiatrie

Réanimation Médicale  
Chirurgie Générale  
Gynécologie Obstétrique  
Gynécologie Obstétrique  
Médecine Interne  
Anesthésie Réanimation

Chirurgie Générale  
Oto-Rhino-Laryngologie  
Cardiologie - **Directeur HMI Med V**  
Urologie  
Ophtalmologie



Pr. SEFIANI Abdelaziz  
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

Génétique  
Réanimation Médicale

### **Décembre 1996**

Pr. AMIL Touriya\*  
Pr. BELKACEM Rachid  
Pr. BOULANOUAR Abdelkrim  
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan  
Pr. GAOUZI Ahmed  
Pr. MAHFOUDI M'barek\*  
Pr. OUADGHIRI Mohamed  
Pr. OUZEDDOUN Naima  
Pr. ZBIR EL Mehdi\*

Radiologie  
Chirurgie Pédiatrie  
Ophtalmologie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Radiologie  
Traumatologie-Orthopédie  
Néphrologie  
Cardiologie

### **Novembre 1997**

Pr. ALAMI Mohamed Hassan  
Pr. BEN SLIMANE Lounis  
Pr. BIROUK Nazha  
Pr. ERREIMI Naima  
Pr. FELLAT Nadia  
Pr. HAIMEUR Charki\*  
Pr. KADDOURI Noureddine  
Pr. KOUTANI Abdellatif  
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid  
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ  
Pr. TAOUFIQ Jallal  
Pr. YOUSFI MALKI Mounia

Gynécologie-Obstétrique  
Urologie  
Neurologie  
Pédiatrie  
Cardiologie  
Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Pédiatrique  
Urologie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Psychiatrie  
Gynécologie Obstétrique



### **Novembre 1998**

Pr. AFIFI RAJAA  
Pr. BENOMAR ALI  
Pr. BOUGTAB Abdesslam  
Pr. ER RIHANI Hassan  
Pr. BENKIRANE Majid\*  
Pr. KHATOURI ALI\*

Gastro-Entérologie  
Neurologie – **Doyen de la FMP Abulcassis**  
Chirurgie Générale  
Oncologie Médicale  
Hématologie  
Cardiologie

### **Janvier 2000**

Pr. ABID Ahmed\*  
Pr. AIT OUMAR Hassan  
Pr. BENJELLOUN DakhamaBadr.Sououd  
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine  
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer  
Pr. ECHARRAB El Mahjoub  
Pr. EL FTOUH Mustapha  
Pr. EL MOSTARCHID Brahim\*

Pneumophtisiologie  
Pédiatrie  
Pédiatrie  
Pneumo-phtisiologie  
Chirurgie Générale  
Chirurgie Générale  
Pneumo-phtisiologie  
Neurochirurgie

Pr. ISMAILI Hassane\*  
Pr. MAHMOUDI Abdelkrim\*  
Pr. TACHINANTE Rajae  
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

### Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia  
Pr. AJANA Fatima Zohra  
Pr. BENAMR Said  
Pr. CHERTI Mohammed  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma  
Pr. EL HASSANI Amine  
Pr. EL KHADER Khalid  
Pr. EL MAGHRAOUI Abdellah\*  
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan  
Pr. MAHASSINI Najat  
Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae  
Pr. ROUIMI Abdelhadi\*

### Décembre 2000

Pr. ZOHAIR ABDELAH\*

### Décembre 2001

Pr. BALKHI Hicham\*  
Pr. BENABDELJLIL Maria  
Pr. BENAMAR Loubna  
Pr. BENAMOR Jouda  
Pr. BENELBARHDADI Imane  
Pr. BENNANI Rajae  
Pr. BENOUACHANE Thami  
Pr. BEZZA Ahmed\*  
Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi  
Pr. BOUMDIN El Hassane\*  
Pr. CHAT Latifa  
Pr. DAALI Mustapha\*  
Pr. DRISSI Sidi Mourad\*  
Pr. EL HIJRI Ahmed  
Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid  
Pr. EL MADHI Tarik  
Pr. EL OUNANI Mohamed  
Pr. ETTAIR Said  
Pr. GAZZAZ Miloudi\*  
Pr. HRORA Abdelmalek  
Pr. KABBAJ Saad  
Pr. KABIRI EL Hassane\*

Traumatologie Orthopédie- Dir. Hop. Av. Marr.  
Anesthésie-Réanimation Inspecteur du SSM  
Anesthésie-Réanimation  
Médecine Interne

Neurologie  
Gastro-Entérologie  
Chirurgie Générale  
Cardiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Pédiatrie Directeur Hop. Chekikh Zaied  
Urologie  
Rhumatologie  
Endocrinologie et Maladies Métaboliques  
Anatomie Pathologique  
Pédiatrie  
Neurologie



ORL

Anesthésie-Réanimation  
Neurologie  
Néphrologie  
Pneumo-phtisiologie  
Gastro-Entérologie  
Cardiologie  
Pédiatrie  
Rhumatologie  
Anatomie  
Radiologie  
Radiologie  
Chirurgie Générale  
Radiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Neuro-Chirurgie  
Chirurgie-Pédiatrique  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie Directeur. Hop.d'Enfants  
Neuro-Chirurgie  
Chirurgie Générale  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Thoracique

Pr. LAMRANI Moulay Omar  
Pr. LEKEHAL Brahim  
Pr. MAHASSIN Fattouma\*  
Pr. MEDARHRI Jalil  
Pr. MIKDAME Mohammed\*  
Pr. MOHSINE Raouf  
Pr. NOUINI Yassine  
Pr. SABBAH Farid  
Pr. SEFIANI Yasser  
Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

### **Décembre 2002**

Pr. AL BOUZIDI Abderrahmane\*  
Pr. AMEUR Ahmed \*  
Pr. AMRI Rachida  
Pr. AOURARH Aziz\*  
Pr. BAMOU Youssef \*  
Pr. BELMEJDOUB Ghizlene\*  
Pr. BENZEKRI Laila  
Pr. BENZZOUBEIR Nadia  
Pr. BERNOUSSI Zakiya  
Pr. BICHRA Mohamed Zakariya\*  
Pr. CHOHO Abdelkrim \*  
Pr. CHKIRATE Bouchra  
Pr. EL ALAMI EL FELLOUS Sidi Zouhair  
Pr. EL HAOURI Mohamed \*  
Pr. FILALI ADIB Abdelhai  
Pr. HAJJI Zakia  
Pr. IKEN Ali  
Pr. JAAFAR Abdeloihab\*  
Pr. KRIOUILE Yamina  
Pr. LAGHMARI Mina  
Pr. MABROUK Hfid\*  
Pr. MOUSSAOUI RAHALI Driss\*  
Pr. OUJILAL Abdelilah  
Pr. RACHID Khalid \*  
Pr. RAISS Mohamed  
Pr. RGUIBI IDRISSE Sidi Mustapha\*  
Pr. RHOU Hakima  
Pr. SIAH Samir \*  
Pr. THIMOU Amal  
Pr. ZENTAR Aziz\*

### **Janvier 2004**

Pr. ABDELLAH El Hassan

Traumatologie Orthopédie  
Chirurgie Vasculaire Périphérique  
Médecine Interne  
Chirurgie Générale  
Hématologie Clinique  
Chirurgie Générale  
Urologie **Directeur Hôpital Ibn Sina**  
Chirurgie Générale  
Chirurgie Vasculaire Périphérique  
Pédiatrie

Anatomie Pathologique  
Urologie  
Cardiologie  
Gastro-Entérologie  
Biochimie-Chimie  
Endocrinologie et Maladies Métaboliques  
Dermatologie  
Gastro-Entérologie  
Anatomie Pathologique  
Psychiatrie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Chirurgie Pédiatrique  
Dermatologie  
Gynécologie Obstétrique  
Ophtalmologie  
Urologie  
Traumatologie Orthopédie  
Pédiatrie  
Ophtalmologie  
Traumatologie Orthopédie  
Gynécologie Obstétrique  
Oto-Rhino-Laryngologie  
Traumatologie Orthopédie  
Chirurgie Générale  
Pneumophtisiologie  
Néphrologie  
Anesthésie Réanimation  
Pédiatrie  
Chirurgie Générale

Ophtalmologie

Pr. AMRANI Mariam  
Pr. BENBOUZID Mohammed Anas  
Pr. BENKIRANE Ahmed\*  
Pr. BOUGHALEM Mohamed\*  
Pr. BOULAADAS Malik  
Pr. BOURAZZA Ahmed\*  
Pr. CHAGAR Belkacem\*  
Pr. CHERRADI Nadia  
Pr. EL FENNI Jamal\*  
Pr. EL HANCHI ZAKI  
Pr. EL KHORASSANI Mohamed  
Pr. EL YOUNASSI Badreddine\*  
Pr. HACHI Hafid  
Pr. JABOURIK Fatima  
Pr. KHARMAZ Mohamed  
Pr. MOUGHIL Said  
Pr. OUBAAZ Abdelbarre\*  
Pr. TARIB Abdelilah\*  
Pr. TIJAMI Fouad  
Pr. ZARZUR Jamila

### **Janvier 2005**

Pr. ABBASSI Abdellah  
Pr. AL KANDRY Sif Eddine\*  
Pr. ALLALI Fadoua  
Pr. AMAZOUZI Abdellah  
Pr. AZIZ Noureddine\*  
Pr. BAHIRI Rachid  
Pr. BARKAT Amina  
Pr. BENYASS Aatif  
Pr. BERNOUSSI Abdelghani  
Pr. DOUDOUH Abderrahim\*  
Pr. EL HAMZAOUI Sakina\*  
Pr. HAJJI Leila  
Pr. HESSISSEN Leila  
Pr. JIDAL Mohamed\*  
Pr. LAAROUSSI Mohamed  
Pr. LYAGOUBI Mohammed  
Pr. NIAMANE Radouane\*  
Pr. RAGALA Abdelhak  
Pr. SBIHI Souad  
Pr. ZERAIDI Najia

### **Décembre 2005**

Pr. CHANI Mohamed

Anatomie Pathologique  
Oto-Rhino-Laryngologie  
Gastro-Entérologie  
Anesthésie Réanimation  
Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale  
Neurologie  
Traumatologie Orthopédie  
Anatomie Pathologique  
Radiologie  
Gynécologie Obstétrique  
Pédiatrie  
Cardiologie  
Chirurgie Générale  
Pédiatrie  
Traumatologie Orthopédie  
Chirurgie Cardio-Vasculaire  
Ophtalmologie  
Pharmacie Clinique  
Chirurgie Générale  
Cardiologie



Chirurgie Réparatrice et Plastique  
Chirurgie Générale  
Rhumatologie  
Ophtalmologie  
Radiologie  
Rhumatologie  
Pédiatrie  
Cardiologie  
Ophtalmologie  
Biophysique  
Microbiologie  
Cardiologie (*mise en disponibilité*)  
Pédiatrie  
Radiologie  
Chirurgie Cardio-vasculaire  
Parasitologie  
Rhumatologie  
Gynécologie Obstétrique  
Histo-Embryologie Cytogénétique  
Gynécologie Obstétrique

Anesthésie Réanimation

### Avril 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen\*  
Pr. AKJOUJ Saïd\*  
Pr. BELMEKKI Abdelkader\*  
Pr. BENCHEIKH Razika  
Pr. BIYI Abdelhamid\*  
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine  
Pr. BOULAHYA Abdellatif\*  
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas  
Pr. DOGHMI Nawal  
Pr. FELLAT Ibtissam  
Pr. FAROUDY Mamoun  
Pr. HARMOUCHE Hicham  
Pr. HANAFI Sidi Mohamed\*  
Pr. IDRIS LAHLOU Amine\*  
Pr. JROUNDI Laila  
Pr. KARMOUNI Tariq  
Pr. KILI Amina  
Pr. KISRA Hassan  
Pr. KISRA Mounir  
Pr. LAATIRIS Abdelkader\*  
Pr. LMIMOUNI Badreddine\*  
Pr. MANSOURI Hamid\*  
Pr. OUANASS Abderrazzak  
Pr. SAFI Soumaya\*  
Pr. SEKKAT Fatima Zahra  
Pr. SOUALHI Mouna  
Pr. TELLAL Saida\*  
Pr. ZAHRAOUI Rachida

Rhumatologie  
Radiologie  
Hématologie  
O.R.L  
Biophysique  
Chirurgie - Pédiatrique  
Chirurgie Cardio - Vasculaire  
Gynécologie Obstétrique  
Cardiologie  
Cardiologie  
Anesthésie Réanimation  
Médecine Interne  
Anesthésie Réanimation  
Microbiologie  
Radiologie  
Urologie  
Pédiatrie  
Psychiatrie  
Chirurgie - Pédiatrique  
Pharmacie Galénique  
Parasitologie  
Radiothérapie  
Psychiatrie  
Endocrinologie  
Psychiatrie  
Pneumo - Phtisiologie  
Biochimie  
Pneumo - Phtisiologie



### Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid  
Pr. ACHACHI Leïla  
Pr. ACHOUR Abdessamad\*  
Pr. AIT HOUSSA Mahdi\*  
Pr. AMHAJJI Larbi\*  
Pr. AOUI Sarra  
Pr. BAITE Abdelouahed\*  
Pr. BALOUCH Lhousaine\*  
Pr. BENZIANE Hamid\*  
Pr. BOUTIMZINE Nourdine  
Pr. CHARKAOUI Naoual\*  
Pr. EHIRCHIOU Abdelkader\*  
Pr. ELABSI Mohamed

Réanimation médicale  
Pneumo phtisiologie  
Chirurgie générale  
Chirurgie cardio vasculaire  
Traumatologie orthopédie  
Parasitologie  
Anesthésie réanimation **Directeur ERSM**  
Biochimie-chimie  
Pharmacie clinique  
Ophtalmologie  
Pharmacie galénique  
Chirurgie générale  
Chirurgie générale

Pr. EL MOUSSAOUI Rachid  
Pr. EL OMARI Fatima  
Pr. GHARIB Noureddine  
Pr. HADADI Khalid\*  
Pr. ICHOU Mohamed\*  
Pr. ISMAILI Nadia  
Pr. KEBDANI Tayeb  
Pr. LALAOUI SALIM Jaafar\*  
Pr. LOUZI Lhoussein\*  
Pr. MADANI Naoufel  
Pr. MAHI Mohamed\*  
Pr. MARC Karima  
Pr. MASRAR Azlarab  
Pr. MRABET Mustapha\*  
Pr. MRANI Saad\*  
Pr. OUZZIF Ezzohra\*  
Pr. RABHI Monsef\*  
Pr. RADOUANE Bouchaib\*  
Pr. SEFFAR Myriame  
Pr. SEKHSOKH Yessine\*  
Pr. SIFAT Hassan\*  
Pr. TABERKANET Mustafa\*  
Pr. TACHFOUTI Samira  
Pr. TAJDINE Mohammed Tariq\*  
Pr. TANANE Mansour\*  
Pr. TLIGUI Houssain  
Pr. TOUATI Zakia

#### **Décembre 2007**

Pr. DOUHAL ABDERRAHMAN

#### **Décembre 2008**

Pr ZOUBIR Mohamed\*  
Pr TAHIRI My El Hassan\*

#### **Mars 2009**

Pr. ABOUZAHIR Ali\*  
Pr. AGDR Aomar\*  
Pr. AIT ALI Abdelmounaim\*  
Pr. AIT BENHADDOU El hachmia  
Pr. AKHADDAR Ali\*  
Pr. ALLALI Nazik  
Pr. AMINE Bouchra  
Pr. ARKHA Yassir  
Pr. BELYAMANI Lahcen\*  
Pr. BJIJOU Younes

Anesthésie réanimation  
Psychiatrie  
Chirurgie plastique et réparatrice  
Radiothérapie  
Oncologie médicale  
Dermatologie  
Radiothérapie  
Anesthésie réanimation  
Microbiologie  
Réanimation médicale  
Radiologie  
Pneumo phtisiologie  
Hématologie  
Médecine préventive santé publique et hygiène  
Virologie  
Biochimie-chimie  
Médecine interne  
Radiologie  
Microbiologie  
Microbiologie  
Radiothérapie  
Chirurgie vasculaire périphérique  
Ophtalmologie  
Chirurgie générale  
Traumatologie orthopédie  
Parasitologie  
Cardiologie  
  
Ophtalmologie

Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Générale

Médecine interne  
Pédiatre  
Chirurgie Générale  
Neurologie  
Neuro-chirurgie  
Radiologie  
Rhumatologie  
Neuro-chirurgie  
Anesthésie Réanimation  
Anatomie



Pr. BOUHSAIN Sanae\*  
 Pr. BOUI Mohammed\*  
 Pr. BOUNAIM Ahmed\*  
 Pr. BOUSSOUGA Mostapha\*  
 Pr. CHAKOUR Mohammed \*  
 Pr. CHTATA Hassan Toufik\*  
 Pr. DOGHMI Kamal\*  
 Pr. EL MALKI Hadj Omar  
 Pr. EL OUENNASS Mostapha\*  
 Pr. ENNIBI Khalid\*  
 Pr. FATHI Khalid  
 Pr. HASSIKOU Hasna \*  
 Pr. KABBAJ Nawal  
 Pr. KABIRI Meryem  
 Pr. KARBOUBI Lamya  
 Pr. L'KASSIMIHachemi\*  
 Pr. LAMSAOURI Jamal\*  
 Pr. MARMADE Lahcen  
 Pr. MESKINI Toufik  
 Pr. MESSAOUDI Nezha \*  
 Pr. MSSROURI Rahal  
 Pr. NASSAR Ittimade  
 Pr. OUKERRAJ Latifa  
 Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani \*

Biochimie-chimie  
 Dermatologie  
 Chirurgie Générale  
 Traumatologie orthopédique  
 Hématologie biologique  
 Chirurgie vasculaire périphérique  
 Hématologie clinique  
 Chirurgie Générale  
 Microbiologie  
 Médecine interne  
 Gynécologie obstétrique  
 Rhumatologie  
 Gastro-entérologie  
 Pédiatrie  
 Pédiatrie  
 Microbiologie *Directeur Hôpital My Ismail*  
 Chimie Thérapeutique  
 Chirurgie Cardio-vasculaire  
 Pédiatrie  
 Hématologie biologique  
 Chirurgie Générale  
 Radiologie  
 Cardiologie  
 Pneumo-phtisiologie

**PROFESSEURS AGREGES :**  
**Octobre 2010**

Pr. ALILOU Mustapha  
 Pr. AMEZIANE Taoufiq\*  
 Pr. BELAGUID Abdelaziz  
 Pr. BOUAITY Brahim\*  
 Pr. CHADLI Mariama\*  
 Pr. CHEMSI Mohamed\*  
 Pr. DAMI Abdellah\*  
 Pr. DARBI Abdellatif\*  
 Pr. DENDANE Mohammed Anouar  
 Pr. EL HAFIDI Naima  
 Pr. EL KHARRAS Abdennasser\*  
 Pr. EL MAZOUZ Samir  
 Pr. EL SAYEGH Hachem  
 Pr. ERRABIH Ikram  
 Pr. LAMALMI Najat  
 Pr. MOSADIK Ahlam  
 Pr. MOUJAHID Mountassir\*

Anesthésie réanimation  
 Médecine interne  
 Physiologie  
 ORL  
 Microbiologie  
 Médecine aéronautique  
 Biochimie chimie  
 Radiologie  
 Chirurgie pédiatrique  
 Pédiatrie  
 Radiologie  
 Chirurgie plastique et réparatrice  
 Urologie  
 Gastro entérologie  
 Anatomie pathologique  
 Anesthésie Réanimation  
 Chirurgie générale

Pr. NAZIH Mouna\*  
Pr. ZOUAIDIA Fouad

Hématologie  
Anatomie pathologique

### **Mai 2012**

Pr. AMRANI Abdelouahed  
Pr. ABOUELALAA Khalil\*  
Pr. BELAIZI Mohamed\*  
Pr. BENCHEBBA Driss\*  
Pr. DRISSI Mohamed\*  
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna  
Pr. EL KHATTABI Abdessadek\*  
Pr. EL OUAZZANI Hanane\*  
Pr. ER-RAJI Mounir  
Pr. JAHID Ahmed  
Pr. MEHSSANI Jamal\*  
Pr. RAISSOUNI Maha\*

Chirurgie Pédiatrique  
Anesthésie Réanimation  
Psychiatrie  
Traumatologie Orthopédique  
Anesthésie Réanimation  
Chirurgie Générale  
Médecine Interne  
Pneumophtisiologie  
Chirurgie Pédiatrique  
Anatomie pathologique  
Psychiatrie  
Cardiologie



### **Février 2013**

Pr. AHID Samir  
Pr. AIT EL CADI Mina  
Pr. AMRANI HANCHI Laila  
Pr. AMOUR Mourad  
Pr. AWAB Almahdi  
Pr. BELAYACHI Jihane  
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain  
Pr. BENCHEKROUN Laila  
Pr. BENKIRANE Souad  
Pr. BENNANA Ahmed\*  
Pr. BENSGHIR Mustapha\*  
Pr. BENYAHIA Mohammed\*  
Pr. BOUATIA Mustapha  
Pr. BOUABID Ahmed Salim\*  
Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba  
Pr. CHAIB Ali\*  
Pr. DENDANE Tarek  
Pr. DINI Nouzha\*  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali  
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa  
Pr. ELFATEMI Nizare  
Pr. EL GUERROUJ Hasnae  
Pr. EL HARTI Jaouad  
Pr. EL JOUDI Rachid\*  
Pr. EL KABABRI Maria  
Pr. EL KHANNOUSSI Basma  
Pr. EL KHLOUFI Samir

Pharmacologie – Chimie  
Toxicologie  
Gastro-Entérologie  
Anesthésie Réanimation  
Anesthésie Réanimation  
Réanimation Médicale  
Anesthésie Réanimation  
Biochimie-Chimie  
Hématologie  
Informatique Pharmaceutique0.  
Anesthésie Réanimation  
Néphrologie  
Chimie Analytique  
Traumatologie Orthopédie  
Anatomie  
Cardiologie  
Réanimation Médicale  
Pédiatrie  
Anesthésie Réanimation  
Radiologie  
Neuro-Chirurgie  
Médecine Nucléaire  
Chimie Thérapeutique  
Toxicologie  
Pédiatrie  
Anatomie Pathologie  
Anatomie

Pr. EL KORAICHI Alae  
 Pr. EN-NOUALI Hassane\*  
 Pr. ERRGUIG Laila  
 Pr. FIKRI Meryim  
 Pr. GHFIR Imade  
 Pr. IMANE Zineb  
 Pr. IRAQI Hind  
 Pr. KABBAJ Hakima  
 Pr. KADIRI Mohamed\*  
 Pr. LATIB Rachida  
 Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra  
 Pr. MEDDAH Bouchra  
 Pr. MELHAOUI Adyl  
 Pr. MRABTI Hind  
 Pr. NEJJARI Rachid  
 Pr. OUBEJJA Houda  
 Pr. OUKABLI Mohamed\*  
 Pr. RAHALI Younes  
 Pr. RATBI Ilham  
 Pr. RAHMANI Mounia  
 Pr. REDA Karim\*  
 Pr. REGRAGUI Wafa  
 Pr. RKAIN Hanan  
 Pr. ROSTOM Samira  
 Pr. ROUAS Lamiaa  
 Pr. ROUIBAA Fedoua\*  
 Pr. SALIHOUN Mouna  
 Pr. SAYAH Rochde  
 Pr. SEDDIK Hassan\*  
 Pr. ZERHOUNI Hicham  
 Pr. ZINE Ali\*

Anesthésie Réanimation  
 Radiologie  
 Physiologie  
 Radiologie  
 Médecine Nucléaire  
 Pédiatrie  
 Endocrinologie et maladies métaboliques  
 Microbiologie  
 Psychiatrie  
 Radiologie  
 Médecine Interne  
 Pharmacologie  
 Neuro-chirurgie  
 Oncologie Médicale  
 Pharmacognosie  
 Chirurgie Pédiatrique  
 Anatomie Pathologique  
 Pharmacie Galénique  
 Génétique  
 Neurologie  
 Ophtalmologie  
 Neurologie  
 Physiologie  
 Rhumatologie  
 Anatomie Pathologique  
 Gastro-Entérologie  
 Gastro-Entérologie  
 Chirurgie Cardio-Vasculaire  
 Gastro-Entérologie  
 Chirurgie Pédiatrique  
 Traumatologie Orthopédie



### **Avril 2013**

Pr. EL KHATIB Mohamed Karim\*  
 Pr. GHOUNDALE Omar\*  
 Pr. ZYANI Mohammad\*

Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale  
 Urologie  
 Médecine Interne

**\*Enseignants Militaires**

### **MARS 2014**

ACHIR ABDELLAH  
BENCHAKROUN MOHAMMED  
BOUCHIKH MOHAMMED  
EL KABBAJ DRISS  
EL MACHTANI IDRISSE SAMIRA  
HARDIZI HOUYAM  
HASSANI AMALE  
HERRAK LAILA  
JANANE ABDELLA TIF  
JEAIDI ANASS  
KOUACH JAOUAD  
LEMNOUER ABDELHAY  
MAKRAM SANAA  
OULAHYANE RACHID  
RHISSASSI MOHAMED JMFAR  
SABRY MOHAMED  
SEKKACH YOUSSEF  
TAZL MOUKBA. :LA.KLA.

### **\*Enseignants Militaires**

### **DECEMBRE 2014**

ABILKACEM RACHID'  
AIT BOUGHIMA FADILA  
BEKKALI HICHAM  
BENAZZOU SALMA  
BOUABDELLAH MOUNYA  
BOUCHRIK MOURAD  
DERRAJI SOUFIANE  
DOBLALI TAOUFIK  
EL AYOUBI EL IDRISSE ALI  
EL GHADBANE ABDEDAIM HATIM  
EL MARJANY MOHAMMED  
FEJJAL NAWFAL  
JAHIDI MOHAMED  
LAKHAL ZOUHAIR  
OUDGHIRI NEZHA  
Rami Mohamed  
SABIR MARIA  
SBAI IDRISSE KARIM

### **\*Enseignants Militaires**

Chirurgie Thoracique  
Traumatologie- Orthopédie  
Chirurgie Thoracique  
Néphrologie  
Biochimie-Chimie  
Histologie- Embryologie-Cytogénétique  
Pédiatrie  
Pneumologie  
Urologie  
Hématologie  
Généologie-Obstétrique  
Microbiologie  
Pharmacologie  
Chirurgie Pédiatrique  
CCV  
Cardiologie  
Médecine Interne  
Généologie-Obstétrique



Pédiatrie  
Médecine Légale  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Maxillo-Faciale  
Biochimie-Chimie  
Parasitologie  
Pharmacie Clinique  
Microbiologie  
Anatomie  
Anesthésie-Réanimation  
Radiothérapie  
Chirurgie Réparatrice et Plastique  
O.R.L  
Cardiologie  
Anesthésie-Réanimation  
Chirurgie Pédiatrique  
Psychiatrie  
Médecine préventive, santé publique et Hyg.

## AOUT 2015

Meziane meryem  
Tahrilatifa

Dermatologie  
Rhumatologie

## JANVIER 2016

BENKABBOU AMINE  
EL ASRI FOUAD  
ERRAMI NOUREDDINE  
NITASSI SOPHIA

Chirurgie Générale  
Ophtalmologie  
O.R.L  
O.R.L

## **2- ENSEIGNANTS – CHERCHEURS SCIENTIFIQUES**

### **PROFESSEURS / PRs. HABILITES**

Pr. ABOUDRAR Saadia	Physiologie
Pr. ALAMI OUHABI Naima	Biochimie – chimie
Pr. ALAOUI KATIM	Pharmacologie
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma	Histologie-Embryologie
Pr. ANSAR M'hammed	Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Pr. BOUHOUCHE Ahmed	Génétique Humaine
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz	Applications Pharmaceutiques
Pr. BOURJOUANE Mohamed	Microbiologie
Pr. CHAHED OUZZANI LallaChadia	Biochimie – chimie
Pr. DAKKA Taoufiq	Physiologie
Pr. DRAOUI Mustapha	Chimie Analytique
Pr. EL GUESSABI Lahcen	Pharmacognosie
Pr. ETTAIB Abdelkader	Zootéchnie
Pr. FAOUZI Moulay El Abbès	Pharmacologie
Pr. HAMZAOUI Laila	Biophysique
Pr. HMAMOUCHE Mohamed	Chimie Organique
Pr. IBRAHIMI Azeddine	Biologie moléculaire
Pr. KHANFRI Jamal Eddine	Biologie
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSE Med	Chimie Organique
Pr. REDHA Ahlam	Chimie
Pr. TOUATI Driss	Pharmacognosie
Pr. ZAHIDI Ahmed	Pharmacologie
Pr. ZELLOU Amina	Chimie Organique



*Mise à jour le 14/12/2016 par le  
Service des Ressources Humain*

# *Dédicaces*



*Je dédie cette thèse .....*

*A Allah tous puissant*

*Pour tous ses bienfaits qui sont dénombrables*

*Qui m'a aidé et guidé dans le bon chemin*

*Exaltation et reconnaissance*

*Pour votre charité et miséricorde*

## *À mes chers parents Fatima et Brahim*

*Sources de mes joies, secrets de ma force*

*Vous serez toujours le modèle*

*Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté*

*Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement en*

*Faisant de moi la personne que je suis aujourd'hui*

*Merci pour tous vos sacrifices pour que vos enfants*

*Grandissent et prospèrent.*

*Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie*

*Au bien être de vos enfants.*

*Merci d'être tout simplement mes parents*

*C'est à vous que je dois cette réussite*

*Et je suis fière de vous l'offrir.*

*À mes chères sœurs Asmaa, Btissam, et Souad*

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de*

*L'affection que je porte pour vous.*

*Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de*

*Réussite et de sérénité.*

*Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de*

*Fraternité et d'amour.*

*A Mon cher grand père et Ma grande mère*

*À mes chers oncles et tantes maternels et paternels*

*Et toute ma famille*

*Vous avez toujours été présents pour les bons conseils.*

*Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au*

*Long de ma vie professionnelle et personnelle.*

*Veillez trouver dans ce modeste travail toute ma reconnaissance.*

*A tous mes amis*

*En témoignage de l'amitié et les souvenirs qui nous uni*

*Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de*

*Bonheur.*

# *Remerciements*



*A notre Maître et Président de thèse*

*Mr ZOUHDI Mimoun*

*Professeur de Microbiologie à la faculté de Médecine et de Pharmacie de*

*Rabat*

*Chef de service de Microbiologie au CHU Ibn SINA de Rabat*

*Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger dans notre jury de thèse  
et de présider cette thèse.*

*Vous avez toujours suscité notre admiration par vos qualités humaines  
et professionnelles.*

*Veillez accepter Monsieur de vous témoigner notre profond respect et  
gratitude.*

*Merci !*

*A notre Maître et Rapporteur de thèse*

*Mr LAATIRIS Abdelkader*

*Professeur de la Pharmacie Galénique à la faculté de Médecine  
et de Pharmacie de Rabat*

*Nous vous remercions vivement de nous avoir fait l'honneur de diriger  
ce travail.*

*Merci pour votre temps et votre patience tout le long de réalisation de  
ce sujet. Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre  
gentillesse méritent toute admiration.*

*Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos  
obligations professionnelles.*

*Veillez exprimer notre profonde gratitude tout en vous témoignant  
notre respect le plus profond et nos reconnaissances les plus sincères.*

*Puisse ce travail être à la hauteur de la confiance que vous nous avez  
accordée.*

*A Notre Maitre et Juge de Thèse*

*Mme. TELLAL Saida*

*Professeur de Biochimie à la faculté de Médecine et de Pharmacie de  
Rabat*

*C'est un honneur pour nous de demander d'être parmi notre jury de  
thèse.*

*Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de participer à ce jury et  
d'apporter votre enrichissant jugement à ce travail. Soyez assuré de ma  
respectueuse reconnaissance et de tout mon respect.*

*Merci !*

*A notre Maître et Membre du Jury*

*Mme. EL HAMZAOUI Sakina*

*Professeur de Microbiologie à la faculté de Médecine et de Pharmacie de  
Rabat*

*C'est un grand privilège et honneur pour nous de vous avoir dans notre  
jury de thèse.*

*Votre amabilité et votre accueil chaleureuse n'ont pas manqué de nous  
toucher.*

*Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre grand respect et  
notre profonde reconnaissance.*

*Merci !*



## LISTES DES ILLUSTRATIONS



## **LISTE DES ABREVIATIONS :**

<b>AG</b>	<b>: Acide gras</b>
<b>AGMI</b>	<b>: Acide gras monoinsaturé</b>
<b>AGPI</b>	<b>: Acide gras polyinsaturé</b>
<b>ALA</b>	<b>: Acide <math>\alpha</math>-Linoléique</b>
<b>AVC</b>	<b>: Accident vasculaire cérébrale</b>
<b>C</b>	<b>: Carbone</b>
<b>CMC</b>	<b>: Carboxyméthylcellulose</b>
<b>DHA</b>	<b>: Acide docosahexaénoïque</b>
<b>EPA</b>	<b>: Acide Eicosapentaénoïque</b>
<b>FDA</b>	<b>: Food and drug administration</b>
<b>GA</b>	<b>: Gomme arabique</b>
<b>H</b>	<b>: Hydrogène</b>
<b>HE</b>	<b>: Huile essentielle</b>
<b>H/E</b>	<b>: Huile dans l'eau</b>
<b>Kg</b>	<b>: Kilogramme</b>
<b>KGM</b>	<b>: Konjac glucomannane</b>
<b>Kv</b>	<b>: Kilovolte</b>
<b>LA</b>	<b>: Acide linoléique</b>
<b>LDL</b>	<b>: Lipoprotéine de basse densité</b>
<b>mA</b>	<b>: Milliampère</b>
<b>MD</b>	<b>: Maltodextrine</b>
<b>Mg</b>	<b>: Milligramme</b>
<b>MPa</b>	<b>: MiliPascal</b>
<b>MS</b>	<b>: Amidon modifié</b>
<b>NaCMC</b>	<b>: Carboxyméthylcellulose de sodium</b>
<b>nm</b>	<b>: Nanomètre</b>

<b>O</b>	<b>: Oxygène</b>
<b>PCM</b>	<b>: Phase change materials</b>
<b>PVA</b>	<b>: Poly alcool vinylique</b>
<b>SC</b>	<b>: Caseinate de sodium</b>
<b>SMP</b>	<b>: Skim milk powder</b>
<b>SPF</b>	<b>: Sun protection factor</b>
<b>SPI</b>	<b>: Soy protein isolate</b>
<b>TG</b>	<b>: Transglutaminase</b>
<b>UVB</b>	<b>: Ultra-violets de type B</b>
<b>WPI</b>	<b>: Whey protein isolate</b>
<b>µm</b>	<b>: Micromètre</b>
<b>ω-3</b>	<b>: Oméga 3</b>
<b>ω-6</b>	<b>: Oméga 6</b>
<b>ω-7</b>	<b>: Oméga 7</b>
<b>ω-9</b>	<b>: Oméga 9</b>

## **LISTES DES FIGURES:**

**Figure 1:** Représentation schématique de la répartition de l'utilisation de l'encapsulation dans les différents domaines d'application.

**Figure 2:** La structure du matériau encapsulé et d'encapsulant.

**Figure 3:** Représentation schématique des différentes formes galéniques.

**Figure 4:** Représentation schématique du principe général d'une technique de microencapsulation.

**Figure 5:** La technique d'émulsification.

**Figure 6:** Un schéma de technique de séchage par pulvérisation.

**Figure 7:** Un Schéma de technique d'électrospray coaxial.

**Figure 8:** Un schéma d'une technique de lyophilisation.

**Figure 9:** Un schéma représentant une technique de coacervation.

**Figure 10:** La technique de polymérisation in Situ.

**Figure 11:** La technique d'extrusion.

**Figure 12:** La technique des fluides supercritiques.

**Figure 13:** La technique d'enrobage en lit d'air fluidisé.

## **LISTES DES TABLEAUX:**

**Tableau I:** Les différents composés encapsulés et leur application dans le domaine industriel.



## TABLE DES MATIERES



<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE 1: APPLICATION DE LA MICROENCAPSULATION DANS L'INDUSTRIE</b>	
<b>.....</b>	<b>4</b>
<b>1-Histoire :.....</b>	<b>5</b>
<b>2- Les différents composés encapsulés :.....</b>	<b>7</b>
<b>3- Les applications des huiles encapsulées : .....</b>	<b>8</b>
3-1-En pharmacie :.....	8
3-2-Agroalimentaire: .....	9
3-3- Domaine agricole :.....	11
3-4- Cosmétique : .....	11
3-5- Industrie textile et des chaussures:.....	13
<b>PARTIE2 :L'ENCAPSULATION DES HUILES.....</b>	<b>15</b>
<b>1- Définition de l'encapsulation :.....</b>	<b>16</b>
<b>2- Intérêt de l'encapsulation :.....</b>	<b>16</b>
<b>3- Les formes galéniques obtenues:.....</b>	<b>17</b>
<b>4- Les Huiles microencapsulées : .....</b>	<b>19</b>
4-1- Les Huiles marines :.....	19
4-2- Les huiles végétales : .....	21
4-3- Les Huiles essentielles : .....	26
4-3-1- Les huiles obtenues à partir des feuilles.....	27
4-3-2- Les huiles obtenues à partir des graines.....	33
4-3-3- Les huiles obtenues à partir des fruits .....	36
4-3-4- Les huiles obtenues à partir des fleurs .....	39
4-3-5- Les huiles obtenues à partir des racines.....	39
<b>PARTIE 3 :LES TECHNIQUES DE MICROENCAPSULATION DES HUILES.....</b>	<b>41</b>
<b>1-Émulsification.....</b>	<b>42</b>
1-1-Principe :.....	42
1-2-Usage :.....	43
2-1-Principe :.....	44
2-2-Usage :.....	45

2-3-Avantage et inconvénient : .....	46
<b>3- Système électrospray coaxial .....</b>	<b>47</b>
3-1-Principe : .....	47
3-2-Usage : .....	48
<b>4-Lyophilisation .....</b>	<b>49</b>
4-1-Principe : .....	49
4-2-Usage : .....	49
<b>5-Coacervation : .....</b>	<b>50</b>
5-1-Principe : .....	50
5-2-Usage : .....	51
<b>6-Polymérisation in situ .....</b>	<b>53</b>
6-1-Principe : .....	53
6-2-Usage : .....	53
<b>7-Extrusion .....</b>	<b>54</b>
7-1-Principe : .....	54
7-2-Usage : .....	55
<b>8-Technologies des fluides supercritiques.....</b>	<b>56</b>
8-1-Principe : .....	56
8-2-Usage : .....	57
<b>9-Enrobage en lit d'air fluidisé.....</b>	<b>58</b>
9-1-Principe : .....	58
9-2-Usage : .....	59
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>62</b>
<b>LES PERSPECTIVES D'AVENIR .....</b>	<b>64</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>66</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>70</b>



# INTRODUCTION GENERALE



Les huiles sont des substances grasses, hydrophobes, onctueuses et inflammables, d'origine végétale, animale ou minérale, généralement liquides au-dessus de 10°centigrade, se figeant ou se solidifiant à une température inférieure. Elles se différencient des graisses qui sont pâteuses dans les conditions normales d'utilisation.

Les huiles marines sont en forte demande parce qu'elles contiennent de grandes quantités d'acides gras polyinsaturés oméga-3, qui ont de nombreux avantages pour la santé. Les huiles végétales offrent également plusieurs avantages pour la santé par rapport aux huiles animales (y compris le beurre et le ghee) lorsqu'elles sont consommées par les humains. Les huiles essentielles obtenues à partir de plantes sont des mélanges complexes de composés volatils naturels. Elles donnent aux plantes leur caractéristique d'odeurs et sont une source commune d'ingrédients bioactifs [1].

Toutes ces huiles ont récemment gagné une grande popularité et un intérêt scientifique. Bien que plusieurs tentatives ont été faites pour exploiter le plein potentiel de ces huiles, elles sont chimiquement instables et sensibles à la détérioration oxydative et la perte de composés volatils, en particulier lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène, la lumière, l'humidité et la chaleur. La qualité d'un produit enrichi avec les huiles peut se détériorer en raison de la dégradation oxydative, la formation des goûts et des saveurs désagréables, et la génération de radicaux libres. Ces changements ont un effet négatif sur la stabilité au stockage, les propriétés sensorielles, et l'acceptabilité globale des produits développés [2].

Pour développer des produits de santé naturels contenant des huiles bioactives, l'incorporation de ces huiles dans un système d'encapsulation pourrait être une bonne approche pour préserver ces composés et maintenir leurs caractéristiques biologiques et fonctionnelles. Elle représente une approche réalisable et efficace pour corriger les problèmes liés à la libération, la stabilité physique, la protection contre les réactions d'oxydation avec l'environnement, la volatilité, la bioactivité, la toxicité et la commodité du patient.

L'ingrédient actif est la base du produit encapsulé. La stabilité et les propriétés de libération des produits encapsulés sont hautement dépendant de la composition du matériau utilisé pour l'enrobage [3]. Les différents matériaux d'enrobage doivent avoir différentes capacités, d'efficacité d'encapsulation et des compatibilités avec l'ingrédient actif. Par

conséquent, le choix d'un bon polymère est nécessaire pour un fonctionnement optimal du produit final. Par exemple, l'alginate est le matériau de paroi le plus biocompatible utilisé dans la technologie d'encapsulation cellulaire [4].

Le système d'encapsulation est choisi en fonction de l'utilisation prévue pour la formulation finale, qui peut varier en fonction de la taille, de la forme ou de la nature de la capsule.

L'encapsulation peut être réalisée par un large éventail de méthodes ou de techniques, en fournissant l'isolement, le piégeage, la protection ou libération contrôlée de matériaux sensibles ou réactifs (composés volatils) de / à travers la matière environnante.

Le domaine de l'encapsulation a fait énormément progresser en introduisant des produits encapsulés de micro et nano dimensions sous forme de poudres, d'émulsions, de billes, de films, etc. La taille de la substance encapsulée détermine le produit final. Les Nanocapsules ont des propriétés significativement meilleures que les plus grandes particules préparées à partir du même matériaux enrobants, d'ingrédients actifs et avec les mêmes techniques [5].

Le but du présent travail est l'étude des systèmes d'administration qui permettent l'encapsulation des molécules apolaires pour une utilisation en thérapeutique, et qui représentent un grand défi pour les industries pharmaceutiques ou agroalimentaires. Le recours à des nouvelles formulations, notamment l'encapsulation, est la stratégie proposée ici.

Les paramètres clés permettant d'incorporer une huile et de maîtriser l'encapsulation de cet ingrédient actif seront également étudiés.



**PARTIE 1: APPLICATION DE LA  
MICROENCAPSULATION DANS  
L'INDUSTRIE**



## **1-HISTOIRE :**

Le papier autocopiant fut le premier produit commercial généré par l'utilisation des microcapsules, développé par Green et Schleicher dans les années 1950.

Le revêtement de l'encre incolore microencapsulée est appliqué sur la feuille de papier, et un développeur est appliqué à la feuille suivante. Quand la pression est appliquée par l'écriture, les capsules se brisent et l'encre réagit avec le développeur pour produire la couleur sombre de la copie.

Le papier électronique avec une faible consommation d'énergie tels que le système de microsphères bichromales rotatives et le système électrophorétique microencapsulé est un autre exemple d'applications commerciales dans l'encre microencapsulée [6].

Aujourd'hui, l'industrie textile utilise des matériaux microencapsulés pour améliorer les propriétés de produits finis. Une application est plus en plus utilisée, l'incorporation des matériaux à changement de phase (PCM) microencapsulés, tels que la cire de paraffine. Les matériaux à changement de phase absorbent et libèrent de la chaleur en réponse aux changements des températures ambiantes. Lorsque la température augmente, le PCM fond, absorbant l'excès de chaleur et se refroidit, et le vice versa.

La microencapsulation est également utilisée dans les tissus thermochromiques et photochromiques, qui changent la couleur avec des changements de température ou de la lumière, dans les tissus insectifuges, qui éloignent les moustiques et dans les tissus aromatisés qui libèrent les parfums [7].

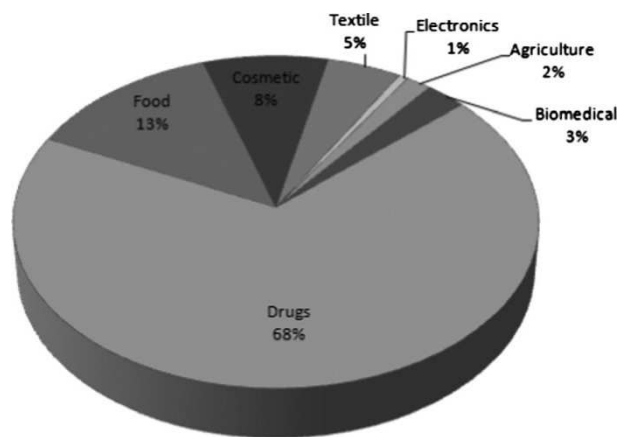
Les pesticides sont encapsulés pour être libérés au fil du temps, permettant aux agriculteurs d'appliquer les pesticides moins souvent que d'exiger des applications initiales très concentrées et peut-être toxiques suivi d'applications répétées pour lutter contre la perte d'efficacité due à la lixiviation, l'évaporation, et la dégradation.

La microencapsulation de cellules et d'enzymes est utilisée pour améliorer l'efficacité des bioréacteurs puisqu'une productivité volumétrique très élevée peut être atteinte, les biocatalyseurs encapsulés ont une plus grande stabilité thermique et opérationnelle, et le

traitement en aval est simplifié puisque le biocatalyseur encapsulé peut être facilement récupéré et réutilisé.

Elle a été largement explorée en industrie pharmaceutique, agricole, alimentaire, cosmétique et textile au cours de la dernière décennie [8]. Ces secteurs industriels représentent un milliard de dollars dans le marché international [9, 10].

En conclusion, il y a de nombreuses possibilités pour utiliser l'encapsulation comme technique d'obtention des produits à haute valeur ajoutée. La Figure 1 illustre la répartition, en pourcentage, de l'utilisation de l'encapsulation dans différents domaines d'application. Il est clair que le secteur qui a le plus haut niveau des applications est le secteur des médicaments (68%), suivi du secteur alimentaire (13%) et la cosmétique (8%). Au contraire, le secteur de l'électronique (ex : textile intelligent) ne représente que 1%.



**Figure 1:** Représentation schématique de la répartition de l'utilisation de l'encapsulation dans les différents domaines d'application. [11].

## 2- LES DIFFERENTS COMPOSES ENCAPSULES :

On trouve désormais des applications de cette technologie dans nombreux domaines industriels, listés dans le tableau suivant, dans lequel sont également précisés des exemples de composés encapsulés.

**Tableau I : Les différents composés encapsulés et leur domaine industriel.**

<b>Domaine industriel</b>	<b>Exemples de composés encapsulés</b>
Pharmacie et médical	Antibiotiques, contraceptifs, enzymes, vaccins, bactéries, vitamines, minéraux, antigènes, anticorps...
Cosmétique	Parfums, huiles essentielles, anti transpirants, agents bronzants, crèmes solaires, colorants capillaires, baumes démêlants, mousses à raser...
Alimentaire	Huiles essentielles, graisses, épices, arômes, vitamines, minéraux, colorants, enzymes, levures, micro organismes...
Agriculture	Herbicides, insecticides, engrais, répulsifs, hormones végétales...
Biotechnologie	Enzymes immobilisées, microorganismes, cellules vivantes, cellules artificielles, cultures tissulaires, composés nutritionnels...
Chimie	Catalyseurs, enzymes, additifs pour plastiques, eau (plâtre et béton), inhibiteurs de corrosion, retardateurs d'incendie, colorants et pigments, agents UV protecteurs, parfums, huiles essentielles, agents lubrifiants...
Détergents	Adoucissants, antistatiques, agents décolorants, agents moussants, silicones, cires, détachants...
Textile	Colorants, parfums, pigments, bactéricides, fongicides, répulsifs d'insectes, agents antistatiques, retardateurs d'incendie, agents imperméabilisants, adhésifs, composés bioactifs médicaux, composés bioactifs cosmétiques
Graphismes et impression	Colorants, pigments, parfums, révélateurs, cristaux liquides, toners, composés photosensibles...
Photographie	Halogénures d'argent, pigments, colorants, composés photopolymérisables, révélateurs pour photographies couleurs, plastifiants...
Electronique	Cristaux liquides, matériaux semi-conducteurs, adhésifs, agents de séchage, retardateurs de flammes, antistatiques...
Traitement des déchets	Microorganismes, substrats, détoxifiants, déchets liquides (solidification), déchets industriels à risques, déchets radioactifs...

(D'après Vandamme, T., Poncelet, D., Subra-Paternault, 2007, Microencapsulation : des sciences aux technologies, Tech et Doc, Paris).

### **3- LES APPLICATIONS DES HUILES ENCAPSULEES :**

L'encapsulation des huiles dans un système pratique est d'un intérêt potentiel et fonctionnel pour les produits pharmaceutiques, alimentaires et cosmétiques [12]. Les autres domaines d'application importants tels que les soins personnels, les produits agricoles, la médecine vétérinaire, les produits chimiques industriels, la biotechnologie, et l'ingénierie biomédicale, sont tous dans la gamme d'intérêt. En raison d'une large gamme d'huiles dans la nature, leur application s'intéresse de plus en plus à encapsuler de telles huiles pour exploiter pleinement leurs avantages bénéfiques.

Les huiles encapsulées ont trouvé diverses applications dans les domaines des aliments, des pesticides, des textiles et des produits pharmaceutiques

#### **3-1-En pharmacie :**

Les technologies modernes ont récemment ouvert le chemin à l'évolution des produits pharmaceutiques. Le fait de surmonter les contraintes de formes posologiques conventionnelles ont attiré une attention particulière. La biodisponibilité, la stabilité, le goût et l'odeur pourraient être parmi les barrières susmentionnées. Les huiles sont parmi les produits qui ont des propriétés pharmaceutiques et nutritionnelles, et qui sont influencées par ces contraintes car on observe une perte de ses composants actifs lors de son stockage [13]. Ce fait est dû au fait que les huiles bioactives contiennent des AGPI et d'autres substances (stéroïdes, caroténoïdes, xanthophylles, flavonols, monoterpènes, etc) principalement sensibles à l'oxygène, la lumière, l'humidité et la chaleur [14]. Les produits formés dans l'huile oxydée comprennent de nombreuses espèces de radicaux libres, des produits d'oxydation primaire comme les hydroperoxydes lipidiques et les produits d'oxydation secondaire comme les aldéhydes, les hydrocarbures, les cétones et les époxydes. Par conséquent, certains d'entre eux peuvent avoir un impact négatif sur les tissus biologiques [15]. À cet égard, l'encapsulation peut permettre de surmonter ces défis [16].

Il existe un risque de transmission de maladies par les moustiques dans les zones tropicales, y compris la fièvre hémorragique de la dengue, le paludisme et la filariose. Les microcapsules d'huile de citronnelle ont été utilisées avec succès comme des répulsifs contre les

moustiques avec une pommade dermique. Il a été constaté que la microencapsulation réduit le taux d'évaporation de l'huile et offre une option prometteuse pour prolonger la durée d'action de l'huile de citronnelle en tant que produit anti-moustique potentiel [17].

L'utilisation médicale des fibres textiles augmente jour par jour. Pour l'usage médical, certains matériaux devraient offrir des caractéristiques souhaitables, telles que la flexibilité, la douceur, la résistance, l'élasticité, la biostabilité, la capacité d'absorption et la capacité à être stérilisée. On a trouvé que l'application de microcapsules d'huile de jojoba sur des tricot compressifs, développés pour des brûlures sévères, préservait les caractéristiques initiales du tricot telles que le toucher, la souplesse et la légèreté, en plus de jouer un rôle dans l'hydratation de la peau et d'éviter l'accumulation de sébum [18].

Dans une autre étude, un produit textile fonctionnel avec de l'huile aromatique, ayant de bonnes propriétés odorantes, hydratantes, relaxantes et anti-âge, a été conçu pour être utilisé en aromathérapie et dans les soins personnels pour améliorer la qualité de vie des utilisateurs. Des microcapsules d'huile de baies ont également été utilisées avec succès à ces fins médicales dans les tissus de serviettes 100% coton [19].

### **3-2-Agroalimentaire:**

L'intérêt du consommateur a significativement augmenté pour les aliments enrichis en acides gras  $\omega$ -3. Le principal défi dans la production de ces aliments est lié à la stabilité de l'huile dans le produit.

Dans l'industrie alimentaire, le processus d'encapsulation peut être appliqué pour diverses raisons. L'encapsulation est utile pour améliorer la délivrance de molécules bioactives (par exemple les antioxydants, les minéraux, les vitamines, les phytostérols, les acides gras, le lycopène, ect) dans les aliments [20,21].

Au cours des dernières années, l'industrie nécessite l'ajout de composés fonctionnels aux produits. Les composés bioactifs sont généralement très sensibles à l'environnement, au traitement et / ou conditions gastro-intestinales et, par conséquent, l'encapsulation a imposé une approche pour une protection efficace et pour empêcher les interactions indésirables avec la matrice alimentaire. Principalement, les composés alimentaires bioactifs sont caractérisés

par une inactivation rapide. Ces composés fonctionnels sont utilisés pour contrôler l'arôme, la couleur, la texture ou les propriétés de conservation.

Les composés bioactifs (y inclus les huiles) bénéficieraient de l'encapsulation, car elle ralentit les processus de dégradation (par ex. oxydation ou hydrolyse) ou empêche la dégradation jusqu'à ce que le produit soit livré aux sites désirés [22].

Des études ont démontré que la microencapsulation d'huile de poisson et son incorporation dans le fromage fondu lors du traitement entraînent une faible oxydation des AGPI oméga-3 à longue chaîne et que les propriétés rhéologiques du fromage fondu ne sont pas altérées et maintient aussi une grande qualité sensorielle contre la saveur du « poisson ». Une étude similaire sur le fromage fondu a également montré que l'encapsulation des huiles de poisson améliorerait la stabilité à l'oxydation et la commercialisation du fromage enrichi en huile de poisson, suggérant qu'une émulsion d'huile de poisson encapsulée est un vecteur utile aux AGPI  $\omega$ -3 à longue chaîne pour fortifier les fromages fondus [23,24]. Cependant, les panélistes préféraient davantage la saveur du fromage additionné d'huile de poisson que le fromage fortifié par l'huile de poisson encapsulée [25].

Récemment, il a été découvert que les microcapsules d'huile de graines de cresson de jardin ajoutées aux biscuits offraient une protection contre l'oxydation de l'ALA (acide linoléique) pendant la cuisson et augmentaient la durée de conservation des biscuits au cours d'un stockage à long terme [26].

La technologie des nano-liposomes est l'une des plus récentes techniques de nano-encapsulation [27]. Les liposomes ont été largement utilisés dans les secteurs alimentaires à la fois dans la recherche et l'industrie; il est devenu possible d'utiliser des liposomes pour libérer les composants fonctionnels tels que des composés nutraceutiques, des antimicrobiens et des arômes dans les aliments en raison d'un certain nombre d'avantages, par ex. la possibilité de production à grande échelle en utilisant les ingrédients naturels, et le piégeage et libération de matériaux hydrosolubles, liposolubles et amphiphiles ainsi que la capacité de ciblage [28,29,30].

### **3-3- Domaine agricole :**

La production alimentaire durable pour une population humaine en croissance rapide est l'un des principaux défis auxquels le secteur agricole est confronté dans le monde [31,32]. La pourriture est un facteur important qui limite la durée de conservation des fruits et des légumes après la récolte et est responsable de pertes économiques considérables. Les fongicides et les pesticides sont couramment utilisés pour contrôler la détérioration post-récolte et les pertes dans les produits agricoles et par conséquent, l'utilisation accrue de pesticides et d'engrais est devenue essentielle pour maximiser la productivité agricole. Cependant, en raison des effets nocifs des fongicides et des pesticides sur l'environnement et la santé humaine, et du développement de la résistance aux fongicides par les agents pathogènes, il y a un besoin urgent de chercher des alternatives.

Récemment, les huiles essentielles extraites de plantes répulsives, ont été étudiées à la place de pesticides chimiques en raison de leur statut écologique et biodégradable.

Des études ont démontré que le traitement post-récolte avec les huiles essentielles encapsulées de mangouste, de *Rosmarinus officinalis* et de *Thymus vulgaris* pouvait contrôler la décomposition, prolonger la durée de conservation et maintenir la qualité interne des mangues. Au cours des dernières années, l'emballage résistant aux insectes pour les produits alimentaires a attiré l'attention de l'industrie alimentaire. La sécurité et la qualité des produits peuvent être assurées en utilisant des huiles essentielles microencapsulées (insecticides verts ou respectueux de l'environnement) pour remplacer les insecticides chimiques [33].

Dans une autre étude, les films contenant l'huile de cannelle encapsulée ont été préparés pour protéger les produits alimentaires contre les insectes (*Plodia interpunctella*). Il a été constaté que les films contenant ces microcapsules étaient les plus efficaces pour repousser les larves de mites et dégager une vitesse de libération du cinnamaldéhyde (un insecticide efficace) [34].

### **3-4- Cosmétique :**

Ces dernières années, l'encapsulation des ingrédients des produits cosmétiques et de soins personnels est devenu très populaire, attrayant et un processus de production

technologiquement réalisables. Il est donc souhaitable de garder en tête que les consommateurs sont plus exigeants et que l'encapsulation reste un art de défi, et être importante pour augmenter la fenêtre opératoire en termes de processus et de matériaux d'encapsulation (les matériaux du noyau et de la coque). Elle peut promouvoir les produits de base cosmétiques pour introduire l'innovation, ajouter des propriétés fonctionnelles et ainsi donner une valeur aux produits [35].

La nanoencapsulation a été largement étudiée ces dernières années pour l'usage dermatologique et cosmétique [36,37,38]. Les nanocapsules chargées en huile dans une suspension aqueuse représentent un moyen facile d'incorporer des huiles d'intérêt dans les formulations cosmétiques, en particulier les formulations contenant une faible teneur en lipides, telles que les gels. La nanoencapsulation est d'autant plus intéressante lorsque l'huile du noyau est utilisée pour ses propriétés pharmacologiques ou cosmétiques, ce qui est le cas de l'huile de rose musquée. L'utilisation de cette huile comprend des applications dermatologiques et cosmétiques, utilisée sous sa forme simple ou dans les formulations à des concentrations allant de 2 à 30%.

L'encapsulation de l'huile de rose musquée, entre autres d'huiles végétales, a déjà été proposée par un groupe de recherche utilisant Eudragit RS100® comme polymère [39]. Le polymère a été choisi en raison de sa biocompatibilité et de ses propriétés cationiques, qui augmentent l'adhérence à la peau [40]. Cependant, une telle suspension locale de nanocapsules présente certains aspects à améliorer, tel que les particules dans la gamme du micromètre, la distribution de grande taille et le crémage élevé des nanocapsules. Néanmoins, on a observé que la viscosité des formulations était très faible, similaire à la viscosité de l'eau pure, ne favorisant pas l'application topique. Dans ce contexte, l'obtention de formulations finales est considérée comme essentielle, et par conséquent, la sélection d'un véhicule semi-solide adéquat est une étape cruciale [39].

En conclusion, la technologie cosmétique ne cesse de croître en termes de matières premières, d'excipients et de formulations d'agents actifs [41].

### **3-5- Industrie textile et des chaussures:**

Les microorganismes pathogènes deviennent de plus en plus résistants aux antibiotiques et les tissus fonctionnels possédant une activité antimicrobienne, ont suscité un intérêt considérable ces dernières années. Actuellement, les textiles non tissés jetables ayant des propriétés antimicrobiennes sont utilisés dans la production de textiles fonctionnels.

Les microcapsules d'huile de pépins de poivron rouge ozonée ayant des propriétés antimicrobiennes ont été utilisées dans les textiles non tissés afin de fabriquer des textiles fonctionnels jetables [42]. Les tissus fonctionnels acaricides ont suscité un intérêt pour contrôler les insectes, y compris les acariens de la poussière de maison, qui menacent la santé humaine en provoquant l'asthme, la rhinite allergique et la dermatite atopique.

De plus, les microcapsules d'huile du clou de girofle et de thym rouge possédant des activités acaricides, ont été appliquées sur le tissu. Il a été noté que les microcapsules d'huile de bourgeon de girofle étaient plus actives pour réduire les acariens vivants (94% de mortalité) [43]. Dans une autre étude, les microcapsules d'huile essentielle de citronnelle appliquées en textiles de coton avaient des activités insectifuges [44].

L'adsorption de parfums et d'autres parfums sur les matériaux de support solides a présenté un intérêt pour les fabricants de textiles en raison de leur incorporation plus commode dans les textiles. Cependant, les parfums volatils liés à des supports solides par l'adsorption, sont facilement éliminés au cours des processus de lavage ordinaires avec les détergents pour le lavage du linge. Il a été observé que l'huile d'orange présente dans les microcapsules était bien retenue dans les tissus de coton après le lavage avec une solution détergente normale et augmentait la persistance du parfum sur les textiles [45]. La microencapsulation d'huiles essentielles de lavande, de romarin et de sauge était utilisée avec succès pour produire un produit textile parfumé [46]. De plus, l'encapsulation de l'huile essentielle de lavande retenait la volatilité des composés parfumés sur les textiles, prolongeant ainsi le parfum des textiles [47]. Les microcapsules d'huile de limonène ont été incorporées avec succès dans les textiles parfumés [48]. Dans une autre étude, les microcapsules d'huile de migraine appliquées sur des tissus de coton étaient capables de conserver le parfum d'huile pendant une longue période [49].

De plus, les microcapsules d'huile de *Melaleuca alternifolia* (arbre à thé) ont été utilisées comme un biocide dans les applications de chaussures. Par conséquent, l'huile de *Melaleuca alternifolia* a montré une activité antimicrobienne appropriée contre les différents microorganismes présents dans la peau des pieds et les chaussures usées. L'incorporation de ces huiles microencapsulés dans le cuir et les tissus a démontré la faisabilité de concept "chaussure active" [50].



PARTIE 2 :

## L'ENCAPSULATION DES HUILES



## **1- DEFINITION DE L'ENCAPSULATION :**

Généralement, l'encapsulation est définie comme un processus visant à piéger une substance (un agent actif) dans une autre substance (matériau de la paroi). La substance encapsulée, à l'exception de l'agent actif, peut être appelée le noyau, le fill, la phase active, interne ou la charge utile. La substance qui encapsule est souvent appelée le revêtement, la membrane, l'enveloppe, la capsule, le matériau de support, la phase externe ou la matrice [51,52].

C'est une technologie spécifiquement adaptée à fournir des composés à haute valeur ajoutée, capable de stabiliser et de contrôler la libération de composés à haute valeur ajoutée extraits à partir des fruits, des légumes ou des déchets (c'est-à-dire des composés bioactifs antioxydants, des vitamines, des acidulants, des parfums, des arômes, des enzymes, des cellules microbiennes et autres). C'est une pratique courante dans la conservation ou l'amélioration de la bioactivité des extraits naturels [53].

L'encapsulation des huiles peut être définie comme un processus dans lequel les gouttelettes de l'huile bioactive sont entourées d'un matériau d'enrobage, ou noyées dans une matrice homogène ou hétérogène, pour donner de petites capsules ayant de nombreuses propriétés utiles [54].

## **2- INTERET DE L'ENCAPSULATION :**

L'objectif de l'encapsulation est de préserver la stabilité des composés bioactifs pendant le traitement et le stockage, empêcher les interactions indésirables avec la matrice alimentaire, et ralentir les processus de dégradation (par ex. l'oxydation ou l'hydrolyse) jusqu'à ce que le produit soit libéré aux sites désirés [22]. Ces ingrédients alimentaires et surtout les huiles étant très sensibles à l'environnement, au traitement et / ou les conditions gastro-intestinales. Aussi, elle peut fournir une barrière entre les matériaux bioactifs sensibles et l'environnement, et permettre de masquer le mauvais goût ou haleine, et augmenter leur biodisponibilité.

L'encapsulation a un bénéfice pour la modification des caractéristiques physiques du produit original afin de [55]:

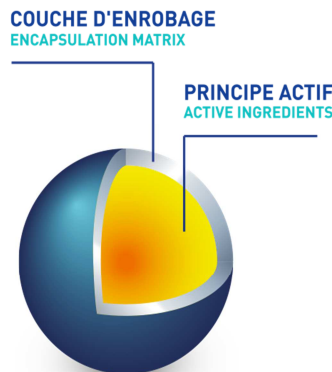
(a) Faciliter la manipulation.

- (b) Aider à séparer les composants du mélange qui réagirait autrement entre eux.
- (c) Fournir une concentration adéquate et une dispersion uniforme d'un agent actif.

### 3- LES FORMES GALENIQUES OBTENUES:

Les propriétés des produits encapsulés dépendent en grande partie de la taille de la capsule, des matériaux d'enrobage, des ingrédients actifs et des techniques de production. En tant que tel, un meilleur produit encapsulé, est destiné pour la livraison nutraceutique, par exemple, peut être avec les petites capsules, composées d'un matériau enrobant de qualité alimentaire, et préparé en utilisant une technique qui n'affecte pas le composé actif. Cette information révèle la valeur qualitative du produit encapsulé.

De façon globale, les particules consistent en un matériau de noyau, qui est appelé phase interne ou remplissage, et une paroi appelée revêtement, enveloppe ou membrane (fig.2). Le matériau de mur détermine la stabilité des microparticules, l'efficacité du processus et le degré de protection du noyau. Les matériaux de mur couramment utilisés pour la l'encapsulation des huiles comprennent les polymères synthétiques et les biomatériaux naturels (habituellement les glucides et les protéines).



**Figure 2:** Structure du matériau encapsulé (huile) et encapsulant.

[\(http://www.capsularis.com/microencapsulation/\)](http://www.capsularis.com/microencapsulation/)

La taille et la forme des particules formées dépendent spécifiquement des matériaux de la paroi et des méthodes utilisées pour les préparer. De plus, les techniques de composition de

paroi et d'encapsulation peuvent également déterminer les propriétés fonctionnelles et les applications potentielles des composants encapsulés.

Les 'structures' créées par encapsulation (particules, capsules, billes...) ayant un effet bien défini, sont capable de transporter une charge avec un mécanisme programmé de relargage dans un environnement donné. A l'intérieur de ces structures, la substance encapsulée peut rester en forme de solution, de suspension ou d'une émulsion. Elle peut correspondre à des molécules simples ou à des structures plus complexes comme des cellules. Dans le domaine de la santé, la fonctionnalité est un des éléments clés du développement des systèmes de délivrance des molécules avec une activité thérapeutique.

### **-Système réservoir:**

Les structures fonctionnelles peuvent présenter des configurations variées, comme les structures illustrées dans la Figure 3. Une « vraie » capsule (micro ou nanocapsule) présente un noyau où la substance active se trouve piégée entourée par une membrane. Elle agit comme un système réservoir.

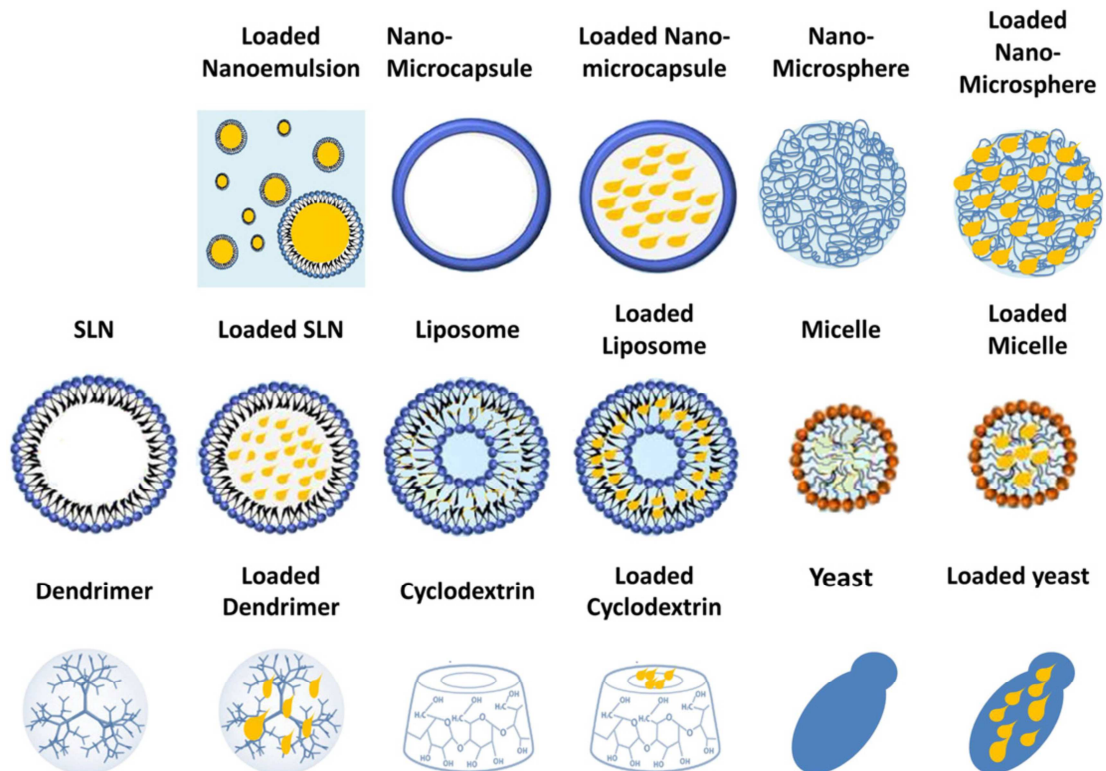
### **-Système matriciel:**

Dans une autre configuration possible (système matriciel, micro ou nanosphère), la substance active se trouve dispersée dans un réseau continu du matériau encapsulant. Il faut noter que la « capsule » minimise la quantité de matériel enrobant administré, par rapport à la structure de type matriciel. Dans une échelle plus petite de taille, une substance active peut rester à l'intérieur d'une molécule comme la cyclodextrine. Nous pouvons aussi associer à ce concept d'encapsulation, des micro(nano)émulsions stables. Ces exemples ne sont pas exhaustifs.

Les structures sont variées aussi bien en taille (du millimètre au nanomètre), dans leur composition que dans leur mode d'obtention. Les paramètres qui gouvernent leurs propriétés physicochimiques sont tout aussi nombreux. Pour les préparer, il faut donc les bons matériaux et la bonne méthode. Normalement, ils ne peuvent pas être sélectionnés d'une façon indépendante, car des relations d'interdépendances existent entre les matériaux, le procédé et

les caractéristiques physiques et fonctionnelles de la structure fabriquée et elles doivent être considérées.

La figure 3 montre des exemples de structures qui pourraient être obtenues par l'encapsulation.



**Figure 3** : Schéma représentant les différentes formes galéniques d'une huile encapsulée [56].

## 4- LES HUILES MICROENCAPSULEES :

### 4-1- Les Huiles marines :

#### -Huile de poisson

Les huiles de poisson contiennent des acides gras polyinsaturés (AGPI) essentiels, y compris les AGPI  $\omega$ -3 comme l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide

docosaénoïque (DHA), et les AGPI  $\omega$ -6 comme l'acide linoléique (C18: 2) et arachidonique (C20: 4). Les AGPI  $\omega$ -3 à longue chaîne, sont trouvés en abondance dans les huiles de poissons [57,58].

Elles jouent un rôle possible dans le développement foetal et infantile et améliore aussi la cognition. Les AGPI à longue chaîne ont des effets anti-inflammatoires et fournir une protection contre divers cancers dans les lignées cellulaires humaines et ont un potentiel d'amélioration de la santé cardiovasculaire et mentale [59,60].

Dans les études cliniques, il a été démontré que les acides gras  $\omega$ -3 provenant de l'huile de poisson peuvent améliorer le fonctionnement du cerveau et aider à prévenir les maladies, y compris les troubles de la réponse immunitaire, la colite ulcéreuse et la maladie de Crohn [61,62]. Récemment, il a été trouvé que l'huile de poisson sert à traiter le déficit de la mémoire [63]. Le DHA est une structure lipidique majeure dans le tissu rétinien sensoriel et vasculaire et sa carence peut déclencher des anomalies structurales et fonctionnelles dans le système visuel [64].

Les principaux obstacles associés à l'incorporation de l'huile du poisson dans les produits alimentaires sont l'insolubilité dans l'eau, la sensibilité des AGPI à l'oxydation, et le développement d'odeur et de goût rances indésirables [65]. Son utilisation dans les systèmes alimentaires aqueux peut être améliorée en utilisant la technologie d'encapsulation [66]. Par conséquent, on a le recours à la méthode de coacervation complexe, en utilisant la gélatine et le carboxyméthylcellulose de sodium (NaCMC) comme un matériau de paroi pour protéger l'EPA et le DHA dans l'huile de poisson [66]. L'huile de thon microencapsulé dans les particules complexes de l'hexamétoposphate de sodium et de gélatine ont montré une plus grande stabilité par rapport aux particules huileuses non encapsulées [67].

### **-Huile de micro-algues**

Les microalgues sont des micro-organismes photosynthétiques, qui peuvent produire des grandes quantités de lipides contenant des vertus bioactives. Les teneurs en lipides chez les micro-algues vont de 15% à 77%, selon les espèces ou les conditions de culture [68,69]. L'huile de microalgues contient des quantités d'AGPI, en particulier de DHA, et peut être

utilisée comme un complément [70,71]. La plupart des huiles de microalgues sont une bonne source d'AGPI  $\omega$ -3 et peuvent être utilisées comme une alternative à l'huile de poisson. En outre, elles contiennent des stérols et des caroténoïdes. La consommation de caroténoïdes est cependant significative et pourrait donner aux huiles de microalgues une valeur nutritionnelle ajoutée comparativement à l'huile de poisson [72].

Récemment, il a été montré que l'huile de microalgues peut offrir un effet protecteur puissant contre les maladies chroniques, telles que les maladies cardiovasculaires et l'AVC [73]. En plus, la poudre d'huile de microalgues peut améliorer ses propriétés physico-chimiques et oxydatives lorsqu'elle est préparée avec le caseinate de sodium (SC), réticulée par la transglutaminase (TG) microbienne et la maltodextrine (MD) à l'aide de l'atomisation [74].

#### **4-2- Les huiles végétales :**

##### **-Huile de lin**

L'huile de lin est une bonne source d'AGPI  $\omega$ -3 qui contient plus de 50% d'acide  $\alpha$ -linoléique (ALA), et a une teneur élevée en AGMI (l'acide oléique (21,2%) et l'acide linoléique (13,96%)) [75]. Elle contient aussi environ de vitamine E (tocophérols), dans lequel le  $\gamma$ -tocophérol est dominant et agit comme un nutriment essentiel, fonctionnant principalement comme un antioxydant qui protège les membranes cellulaires contre les dommages oxydatifs [76]. Il a été observé que l'huile de lin efficacement microencapsulée avec la MD combinée avec l'isolat de protéine de pois chiche ou l'isolat de protéine de lentille par la technique du séchage par pulvérisation et par la lyophilisation, fournit un effet protecteur contre l'oxydation pendant la période de stockage de 25 jours à une température ambiante. Ces techniques peuvent fournir plus de 80% des huiles encapsulées au tractus gastro-intestinal [77] [78].

##### **-Huile de soja**

En raison de ses graines riches en huile, le soja est un élément important dans la culture de légumineuses dans le monde. L'huile de soja est classée comme une huile polyinsaturée, qui comprend environ 15% d'AG saturés, 24% d'AG monoinsaturés, et 61% d'AG

polyinsaturés où l'acide linoléique et l'acide linoléique représentent respectivement environ 53,2% et 7,8%. Elle est également une source importante de vitamine E, qui aide à abaisser le taux de cholestérol sérique et les lipoprotéines de basse densité (LDL) et prévenir l'athérosclérose et les maladies cardiaques. Elle peut aussi être utilisée comme un agent hypocholestérolémiant potentiel [79,80].

Les émulsions d'huile de soja subissent un séchage par pulvérisation après la préparation en utilisant le SC ou une protéine de lactosérum. La capacité d'encapsulation de ce dernier est plutôt basse comparée au premier. La structure des gouttelettes d'émulsion, la libération de l'huile sur la surface de la poudre, et la taille des gouttelettes d'émulsion après la redispersion ont été affectées par l'addition de lactose [81,82].

### **-Huile d'onagre bisannuelle**

L'huile d'onagre est utilisée pour augmenter les quantités des préparations nutritionnelles et pharmaceutiques. Elle contient 9% d'acide  $\gamma$ -linoléique, 74% de LA (acide linoléique) et 7% d'acide oléique, environ 7952 mg de  $\beta$ -sitostérol et 883 mg de campesterol, pour un kg d'huile dans une fraction de phytostérol [83]. L'acide  $\gamma$ -linoléique est requis par les cellules du corps pour maintenir une structure cellulaire normale et une régulation du taux des lipides sanguins, il est aussi responsable de nombreux autres effets physiologiques, tels que l'effet hypocholestérolémiant, et les effets thérapeutiques contre l'eczéma atopique, la neuropathie diabétique, la polyarthrite rhumatoïde et les douleurs prémenstruelles [83,84]. Récemment, il a été montré que le  $\beta$ -sitostérol et le campesterol ont une action protectrice contre le cancer [85]. La microencapsulation d'huile d'onagre avec la gomme arabique (GA), la MD et / ou le SC (le caseinate de sodium), séchées individuellement ou en combinaison par l'atomisation, a montré que les microcapsules avec un matériau à paroi unique ont mieux sensibles à l'oxydation que ceux ayant plusieurs matériaux de membrane [84].

### **-Huile de tournesol**

L'huile de tournesol est riche en acides gras monoinsaturés à longue chaîne (AGMI) et en acides gras polyinsaturés (AGPI), dont la teneur est supérieure à celle de l'huile de soja, de l'huile de palme, de l'huile de moutarde et de l'huile de coco. Elle contient environ 46% de

l'acide linoléique (LA) ( $\omega$ -6) et 45% d'acide oléique ( $\omega$ -9). Vu que les bénéfices potentiels apportés par le mélange des acides gras  $\omega$ -3 et de  $\omega$ -6 pour la santé, l'huile de tournesol et l'huile de lin ont été étudiées à différents rations alimentaires. L'huile de tournesol a également des teneurs élevées en tocophérols et en caroténoïdes et contient de la lécithine [86]. L'huile a des propriétés anti-inflammatoires, anticancéreuses, contre les maladies cardiovasculaires et pour la santé de la peau, et possède une efficacité contre les infections bronchiques, laryngées et pulmonaires. L'encapsulation par atomisation de l'huile de tournesol augmente la stabilité oxydative, avec une teneur élevée en huile retenue dans les microcapsules avec la Maltodextrine et l'hydroxy-propylméthyl-cellulose utilisés comme des matériaux de paroi [87,88].

### **-Huile de graines de Kénaf**

L'huile de graines de Kénaf est riche en acides gras polyinsaturés. L'acide linoléique dans l'huile de graine a une activité anti-inflammatoire et antithrombotique dans le corps, les phytostérols ont la capacité d'abaisser le taux du mauvais cholestérol [89,90]. De plus, elle contient des quantités considérables d'autres antioxydants naturels [91]. L'encapsulation a été utilisée pour protéger l'huile de graines de Kénaf contre l'oxydation, ainsi que pour prévenir la dégradation avec une augmentation du contenu phénolique total, prolongeant ainsi la durée de vie de cette huile de graines [91,92,93].

### **-Huile de pépins du poivron rouge**

Les graines du poivron rouge contiennent des protéines, des huiles et des fibres. Aujourd'hui, la Chine est le pays le plus producteur du poivron rouge. Ces graines contiennent 25% de l'huile et d'acides gras, principalement constitués d'acide linoléique, d'acide oléique, d'acide hexadécanoïque, d'acide stéarique et d'acide linoléique. Les teneurs en acide linoléique et en acide oléique peuvent atteindre plus de 90% des acides gras insaturés. Certains chercheurs médicaux considèrent que les graines du poivron rouge peuvent avoir un effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires et dans la régulation du système nerveux central. Elles contiennent également divers minéraux et vitamines (A, D, E et K), avec un taux élevé en vitamine E (particulièrement utile pour les soins de santé et pour ses propriétés anti-

âges) [42,94]. L'encapsulation d'huile de graines de poivron rouge ozonée pour la préparation du matériau textile fonctionnel a donné une activité antimicrobienne plus élevée que celle de l'huile non micro-encapsulée [42].

### **-Huile de Jojoba**

L'huile de jojoba est une cire qui agit directement contre le vieillissement, elle hydrate la peau sèche, nourrit les cheveux et prévient l'accumulation de sébum. Elle aide dans le processus de renouvellement des cellules et augmente l'élasticité, la douceur et la fermeté de la peau. Elle est constituée d'acide eicosanoïque (66 à 71%), d'acide docosanoïque (14 à 20%) et d'acide oléique (10 à 13%). L'huile de jojoba contient également des céramides, des flavonoïdes et la vitamine E, qui agit en tant qu'antioxydant et protège la peau contre les radicaux libres [18,95]. Les microcapsules d'huile de jojoba présentées comme des contrôleurs de libération au fil de temps lors de la diffusion de l'huile de Jojoba, encapsulée sur le vêtement de compression, par une peau de porc [18].

### **-Huile de Noix**

La noix est un fruit composé d'une coquille dure et d'une graine à l'intérieur de celle-ci. Généralement, les noix ont une teneur élevée en huile. L'huile de noix a une haute teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI)  $\omega$ -6 et  $\omega$ -3 [96]. Elle contient 60 à 65% d'huile, avec l'acide linoléique comme acide gras principal, suivi par l'acide oléique, linoléique et palmitique [97]. Des phénols, des tocophérols et des phytostérols ont également été trouvés dans l'huile de noix. Il donne une protection contre certains types de cancer et diminue également le risque de coronaropathie cardiaque [98]. Il a été rapporté que le processus de microencapsulation de l'huile de noix par le caséinate de sodium (SC), le carboxyméthylcellulose (CMC) et la maltodextrine (MD) n'ont pas affecté le profil des AGPI mais il a prolongé la durée de conservation (stabilité de l'huile pour au moins de 5 mois) indépendamment de l'utilisation d'additifs antioxydants [99].

### **-L'huile d'olive**

L'huile d'olive a une importance diététique, contenant de 56 à 87% d'AGMI, de 8 à 25% d'AGS et de 8 à 22% d'AGPI [100]. Elle contient également des vitamines et des polyphénols

qui contribuent à la stabilité de l'huile et pouvant avoir des propriétés anti-inflammatoires et anti-athérosclérotiques [101]. De plus, leur effet bénéfique sur la santé comprend une facilité de digestion, un effet antiulcéreux et antiâge, une diminution des effets du stress et du cholestérol plasmatique, une réduction de probabilité de développer un syndrome coronarien aigu et des cancers, et un effet thérapeutique potentiel pour le traitement du diabète de type 1 et 2. Il a été rapporté que la microencapsulation de l'huile d'olive en utilisant le caseinate de sodium (SC) comme un matériau de la membrane a prolongé la durée de stabilité de l'huile sans modifier le profil de ses acides gras [102,103,104,105].

### **-Huile de palme**

L'huile de palme rouge est l'une des sources les plus riches en vitamine E (tocotriénols 70% et tocophérols 30%) [106]. Elle contient également des caroténoïdes dont 80 à 90% en  $\alpha$ -carotène et  $\beta$ -carotène [107]. En outre, elle contient des quantités appréciables de phospholipides, d'ubiquinones, de stérols, et de squalène [108]. Les fruits d'huile de palmier ont été identifiés comme une source riche en composés phénoliques [109]. Elle est la seule qui contient des quantités équivalentes de lipides saturés et insaturés [110]. Récemment, il a été rapporté qu'elle possède des effets protecteurs puissants contre les maladies chroniques, c'est-à-dire les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer [107,109,111]. Des microcapsules contenant de l'oléine de palme rouge et de la stéarine à un rapport de 60:40, avec le SC en tant que matériau de membrane, ont été développées [112].

### **-Huile d'argousier**

Les graines et les huiles de pulpe de l'argousier ont été traditionnellement utilisées pour traiter les problèmes de peau en raison de leur richesse en acides gras insaturés  $\omega$ -7 [113].

Cette huile est également riche en caroténoïdes, tocophérols et phytostérols. En plus, elle contient des niveaux élevés de deux acides gras essentiels, l'acide linoléique (34%) et l'acide linoléique (25%). Ceux-ci font de cette l'une des huiles les plus polyvalentes [114,115]. Elle aurait un effet thérapeutique dans la dermatite atopique, les ulcères gastriques et les maladies cardiovasculaires [113,115,116,117]. Il a été trouvé que l'encapsulation en utilisant la gomme arabique (GA), la maltodextrine (MD) et l'amidon modifié (MS) a amélioré la stabilité à

l'oxydation et a prolongé la durée de conservation de l'huile de graine d'argousier d'une semaine à 2 mois à 20 °C [118,119].

### **-Huile d'avocat**

L'huile d'avocat a une saveur et une couleur unique. Elle contient une forte concentration d'acide oléique (70%), de vitamines, de minéraux, et de phytostérols [120,121]. Ses composés phytochimiques sont connus par leurs effets positifs sur la santé, surtout sur le cholestérol sérique et les lipoprotéines, les maladies coronariennes, sur le cancer et sur le diabète [120].

Par conséquent, l'huile d'avocat est largement acceptée dans l'alimentation, dans les produits pharmaceutiques et cosmétiques. Il a été rapporté que la microencapsulation de l'huile d'avocat par le protéine de lactosérum et la MD a amélioré sa stabilité oxydative dans une certaine mesure [122].

### **-L'huile de germe de blé**

Le germe de blé est une source riche en tocophérols et tocotriénols. Il contient environ 8 à 14% de l'huile. Ses huiles brutes sont habituellement riches en matières insaponifiables (2 à 6%). Elle a été utilisée avec succès en tant que phase huileuse dans les émulsions avec l'alginate de sodium comme matériau de membrane [123,124].

## **4-3- Les Huiles essentielles :**

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils caractérisés par une forte odeur, elles sont formées dans les plantes aromatiques en tant que métabolites secondaires. Les huiles essentielles peuvent être considérées comme des substituants appropriés aux additifs chimiques destinés à l'industrie alimentaire. La composition des huiles essentielles peut être modifiée à la suite de l'oxydation, des interactions chimiques, ou de la volatilisation. Pour limiter la dégradation ou la perte de composition pendant le traitement et le stockage des HE, et pour contrôler la libération du composé au site souhaité, l'encapsulation de ces huiles est bénéfique avant leur utilisation dans les aliments ou les boissons [125].

Les huiles essentielles citées ci-dessous seront citées en fonction de leurs sources d'extractions :

#### **4-3-1- Les huiles obtenues à partir des feuilles**

##### **-Huile d'origan**

Les huiles essentielles d'origan contiennent plus de 30 ingrédients, dont le carvacrol, le thymol, l' $\alpha$ -terpinène, l' $\gamma$ -terpinène, le terpinen-4-ol, le p-cymène, l' $\alpha$ -terpinéol et le sabinène. Les deux premiers composants, constituant environ 78 à 82% du volume total de l'huile, sont des composés phénoliques responsables de l'odeur caractéristique de l'origan et des activités antioxydantes et antimicrobiennes [126,127]. Elle est utilisée comme un ingrédient alimentaire en raison de son effet protecteur et sa saveur agréable.

L'huile d'origan est l'une des huiles les plus efficaces comme antimicrobienne, ses composants phénoliques provoquent la dépolarisation de la membrane cytoplasmique bactérienne, conduisant ainsi à la mort cellulaire. Elle a réduit la *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, et *Escherichia coli* du sérotype O157: H7 sur la laitue fraîche [129]. L'huile essentielle d'origan possède des propriétés antifongiques, insecticides, et peut également être utilisé pour la prévention des troubles neurodégénératifs [128].

Cependant, en raison de la nature hydrophobique des huiles essentielles, les composés organiques d'une matrice alimentaire peuvent interférer avec les huiles essentielles pour réduire leur effet antimicrobien et/ou raccourcir leur durée d'efficacité [129]. Avec l'instabilité et la volatilisation, l'encapsulation de l'huile essentielle d'origan a été largement étudiée. Le Tween 80, un agent tensioactif non ionique de qualité alimentaire, peut stabiliser des nanoémulsions d'huile d'origan lorsqu'elles sont préparées par une méthode d'ultrasons à haute énergie.

Cette huile a été encapsulée dans les particules de poudre du lait écrémé et de protéines de lactosérum concentrées. En plus, des sphères poreuses d'amidon de riz et d'inuline et des capsules de gélatine / saccharose, ont été préparées par séchage par pulvérisation [130,131]. Les microparticules de gélatine / saccharose montrent une activité antimicrobienne et

antioxydante, tandis que l'inuline et l'amidon de riz utilisés dans l'encapsulés ont montré une plus grande stabilité [131].

### **-Huile de menthe**

L'huile de menthe est un mélange complexe de composants relativement volatiles et labiles. C'est un agent aromatisant populaire dans les aliments, la parfumerie et les industries pharmaceutiques [132]. Le composant le plus abondant de l'huile de menthe est le menthol [133]. Cette huile a été utilisée depuis l'antiquité pour le traitement de nombreux problèmes du tube digestif et dans les applications culinaires. Elle offre une forte activité antimicrobienne, anticancéreuse, et antioxydante [134,135,136]. La microencapsulation augmente la rétention de l'huile de menthe et ses principaux composés, principalement le menthol et l'isomenthol [137,138,139]. Il a été rapporté que seulement 7% d'huile de menthe poivrée a été libérée par des microcapsules préparées à partir de gélatine et de gomme arabique (GA) pendant 40 jours de stockage dans l'eau froide, montrant ainsi une stabilité au stockage [140].

### **-Huile de basilic**

L'huile de basilic a émergé comme une source de valeur médicamenteuse forte [141]. Ses principaux composants phénoliques et les dérivés terpénoïdes comprennent le méthyl eugénol (42,58%) suivis par le caryophyllène (26,88%) et l'eugénol (10,66%). Ils offrent des propriétés antioxydantes [142], antibactériennes [143], antifongiques [144], antihelminthiques [145], anti-inflammatoires [146], antitussives [147], et anticancéreuses [148]. Ils peuvent aussi inhiber la synthèse du cholestérol et améliorer la performance digestive [141,149].

Il est rapporté que la microencapsulation de l'huile de basilic à l'aide de gélatine a fourni une protection contre la perte physique et chimique dans des conditions de stockage accéléré à 60 ° C pendant 49 jours. Cependant, une petite diminution a été observée dans son taux de rétention et son activité antioxydante [150].

### **-Huile de romarin (*Rosmarinus officinalis L.*)**

C'est la plante la plus aromatique et médicinale utilisée dans le monde entier, en raison de son huile essentielle et ses composés phénoliques [151]. La dernière recherche liée à l'huile essentielle de romarin a porté principalement sur son effet antibactérien [152], antifongique [153], insecticide [154], anticancéreux [155], astringent, antiseptique, gastrique, carminatif, antiviral, anti-inflammatoire et antioxydant [156]. En outre, il contribue également à l'amélioration de la cognition [157]. La microencapsulation de l'huile de romarin améliore l'activité fonctionnelle des substances volatiles à haute rétention (1,8-cinéol, camphre, et  $\alpha$ -pinène) [158]. La composition chimique d'huile de romarin encapsulée reste inchangée [159].

### **-Huile de *Lippia sidoides***

C'est une herbe aromatique, connue sous le nom "*alecrim pimenta*". Cette espèce est utilisée efficacement pour traiter les infections de la peau, du cuir chevelu, de la bouche, de la gorge et la gastro-entérite en raison de ses propriétés antiseptiques, anti-infectieuses et antimicrobiennes [160] [161]. C'est une huile essentielle avec des propriétés antibactériennes et antifongiques, insecticide, antihelminthique et des propriétés acaricides [162,163,164,165]. De plus, elle est également utilisée dans la production commerciale de parfums, crèmes, lotions et déodorants [162]. Il a été démontré que la microencapsulation de l'huile de lippia sidoides en utilisant la maltodextrine et la gomme arabique donne un produit en poudre contenant une forte concentration de thymol (un constituant majeur de cette huile essentielle), par rapport à l'huile non encapsulée, et a montré aussi une activité antifongique importante [166].

### **-Huile de citronnelle**

La citronnelle est largement utilisée dans la médecine populaire [167]. L'huile essentielle de citronnelle a une activité antimicrobienne contre une variété de micro-organismes, y compris les levures, les bactéries Gram positives et les bactéries Gram négatives [168]. L'huile de citronnelle est efficace contre les troubles anxieux généralisés et l'épilepsie [169]. En plus de son large spectre de fongitoxicité, elle a une application dans la protection des récoltes alimentaires stockées [170]. Il a été rapporté que la microencapsulation de l'huile de

citronnelle par le polyalcool vinylique (PVA), a protégé l'huile de la détérioration et maintenu son activité antimicrobienne [171].

### **-Huile de myrte citronné**

Les huiles essentielles australiennes de myrte de citron contiennent typiquement 95% de citral. Elles possèdent un arôme doux de citron qui pourrait être utilisé comme un arôme alternatif dans les aliments à base de lait [172,173]. Elles ont une excellente activité antimicrobienne [174] et peuvent également produire des effets antioxydants [175]. En raison de ces caractéristiques favorables, elles ont été largement utilisées dans les aliments, les cosmétiques et les médicaments. La protéine de lactosérum concentrée et la maltodextrine ont été utilisées avec succès pour encapsuler l'huile de myrte de citron [176].

### **-Huile de feuille de cannelle**

L'huile de feuille de cannelle est reconnue par sa saveur et son arôme caractéristiques, en plus de ses propriétés antimicrobiennes [177,178]. Les propriétés antifongiques et antioxydantes de l'huile de feuille de cannelle sont dues à des composants volatils tels que le cinnamaldéhyde et l'eugénol [179]. Il est rapporté qu'elle possède des propriétés antimicrobiennes [180], antidiabétiques [181], et anti-inflammatoires [182].

La FDA considère cette huile comme un composé reconnu sûr [183]. La microencapsulation d'huile de feuille de cannelle et d'ail par la  $\beta$ -cyclodextrine a fait preuve d'une activité antifongique contre *Alternaria alternata*. Les microcapsules d'huile de cannelle et d'ail pourraient avoir des applications importantes dans l'industrie alimentaire en raison de l'amélioration de la stabilité, de la solubilité et de la biodisponibilité [178].

### **-Huile de théier**

Les plantes endémiques australiennes produisent une large gamme des huiles essentielles telles que l'huile de thé (*Melaleuca alternifolia*), qui a été employé pour son activité germicide et antibactérienne [184]. En outre, elle est utilisée dans la consommation des produits de santé, y compris les antiseptiques topiques, les bains de bouche, dans le traitement de l'acné, la coccidiose orale, l'herpès labial et les pellicules. L'encapsulation d'huile de théier

à l'aide de la mélamine maintien une activité antimicrobienne et a été utilisée comme un biocide appliqué sur les chaussures [50].

### **-Huile de Thym**

Le Thym est un additif alimentaire phyto-génique et une source très connue des huiles essentielles. Son huile essentielle est largement utilisée dans les industries alimentaires, des d'arômes et aussi dans la fabrication de parfums et de cosmétiques. Ses activités antioxydantes et antimicrobiennes, sont principalement attribuables à la présence de carvacrol, de cinnamaldehyde, du thymol, de géraniol et d'eugénol [185,186]. Dans le domaine pharmaceutique, le thymol et le carvacrol sont utilisés dans les bains de bouche, les savons et les crèmes [185]. Récemment, il a été rapporté que l'incorporation d'huile essentielle de thym dans les films comestibles améliorerait la durée de préservation et de sécurité des aliments prêts à être consommés [187]. Les microcapsules à base de mélamine-formaldéhyde ont une bonne résistance thermique avec une surface lisse et une haute efficacité insectifuge [188].

### **-Huile de camphre**

L'huile de camphre est appréciée par nombreux peuples, et particulièrement par les Chinois. Ils l'utilisent à des fins médicinales. Les propriétés thérapeutiques d'huile de camphre sont représentées par des effets antifongiques, analgésiques, antidépresseurs, anti-inflammatoires, antiseptiques, carminatifs, diurétiques, fébrifuges, antihypertenseurs, insecticides, laxatifs, rubéfiants, stimulants, sudorifiques, vermifuges, et vulnérinaires [189,190].

Récemment, un nouveau produit fiable a été développé à partir d'huile de camphre pour lutter contre les poux de volaille [191]. L'huile de camphre a été encapsulée en utilisant des microcapsules de gélatine-gomme arabique préparées par coacervation pour atteindre une efficacité d'encapsulation d'environ de 99,6% en masse avec un rapport optimal de volume huile/paroi de 0,75. Il a été constaté que le taux et la vitesse de libération d'huile dépendait de la quantité de polystyrène ajouté [192].

## **-Huile de poivrier sauvage**

Le poivrier sauvage est un arbre à feuilles persistantes hautement aromatiques, connu comme une source d'huiles essentielles avec une agréable odeur épicée [193,194]. Ses huiles essentielles ont des vertus antibactériennes, antifongiques, anti-inflammatoires, cytotoxiques, et insecticides [195,196,197], et possèdent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes [198].

La microencapsulation de l'huile essentielle des feuilles de poivrier sauvage, en utilisant la maltodextrine et la gomme arabique, a été développée pour contrôler la libération des ingrédients actifs et les protéger contre l'environnement lors du stockage et de l'application. Cette étude montre que l'effet insecticide était assez persistant, avec l'amélioration de son potentiel insecticide sur *l'haematobia irritans* [197].

## **-Huile essentielle de piment**

L'huile essentielle de piment est extraite des feuilles et les baies du *Pimenta dioica tree*. Elle est utilisée dans les aliments, en particulier dans la viande, dans les produits cosmétiques et pharmaceutiques pour traiter le diabète, l'hypertension artérielle, la névralgie et le stress [199]. L'huile essentielle de piment extraite des baies de Piment contenait 23 composants dont l'eugénol (68,06%) et le méthyleugénol (9,37%) [200]. Ces composés ont une activité antifongique significative, en particulier contre les champignons pathogènes et toxigènes dangereux [201].

L'encapsulation de l'huile essentielle de piment à l'aide de chitosane et de k-carraghénane a montré une activité antimicrobienne contre *Candida utilis*, *Bacillus cereus* et *Bacillus subtilis*, suggérant que l'huile essentielle de Piment encapsulée dans les microsphères de chitosane et de chitosane / k-carraghénane peut être utilisée dans l'industrie de viande pour augmenter la fonctionnalité des produits carnés [200].

## 4-3-2- Les huiles obtenues à partir des graines

### -Huile de Cardamome

Cette huile possède des activités potentielles antibactérienne, antioxydante, anticancéreuse, antiseptique, antispasmodique, carminative, digestive, diurétique, expectorante, stimulante et stomachique [202,203]. De plus, c'est un promoteur d'absorption pour certains médicaments dermiques [202]. Les principaux composants présents dans l'oléorésine de cardamome sont le 1,8-cinéole et l'acétate de  $\alpha$ -terpinyle comprenant environ 66% des volatils totaux. La microencapsulation de l'huile de cardamome, préparées avec un mélange de gomme arabique, la maltodextrine, et l'amidon modifié a augmenté la stabilité des matières volatiles, y compris le 1,8-cinéole, et l'acétate de  $\alpha$ -terpinyle [204,205].

### -Huile de cresson alénois

Le cresson alénois est une herbe comestible, ses graines contiennent environ 24% d'huile, dont 32 à 34% est représenté par l'acide linoléique [206]. L'huile de cresson contient une grande quantité de tocophérol (1699 mg / kg) qui a un pouvoir antioxydant [207]. L'encapsulation n'avait pas affecté la composition des acides gras de l'huile de cresson en respectant le pallier de l'acide linoléique dans les microcapsules, mais il a conféré une bonne stabilité et protection de l'huile [206].

### -Huile de caféier

L'huile de café vert est habituellement utilisée dans l'industrie cosmétique puisque sa composition en acide gras a une importante propriété émolliente. L'huile contient environ 80% de triglycérides et de grandes quantités de composés insaponifiables [208]. Cette fraction insaponifiable contient les diterpènes, le kahweol et le cafestol extraits respectivement de l'espèce *Coffea canephora* et *Coffea arabica*, sous forme libre et estérifiée avec des acides gras, principalement avec l'acide linoléique (46,3 et 44%), l'acide palmitique (30,2 et 31,3%), l'acide oléique (10,6 et 12,5%) et l'acide stéarique (8 et 5,9%). L'huile de *C. arabica* est la plus appropriée pour les applications dans les cosmétiques, en offrant le facteur de protection solaire (SPF) le plus élevé [209], et particulièrement pour éviter les effets des rayons UVB

(280-320 nm) sur la peau, mais aussi comme agent anticancérogène, anti-inflammatoire et antioxydant [208].

La microencapsulation de l'huile de café vert a montré une plus grande stabilité à l'oxydation par rapport à l'huile non encapsulée et maintient un SPF avec de grandes quantités de di-terpènes. De plus, l'encapsulation de cette huile facilite son utilisation dans les poudres cosmétiques et réduit les effets allergènes de l'acide cinnamique lorsqu'il est appliqué directement sur la peau [208,210].

### **-Huile de graines de Pitaya**

*L'Hylocereus polyrhizus*, habituellement appelé le rouge pitaya ou le fruit de dragon, est une variété de fruit de cactus qui a un fruit rouge pelé avec une couleur rouge-violet dans la chair du fruit [211].

L'huile de graine de Pitaya peut servir comme une source potentielle d'antioxydants naturels tels que les phénols, les stérols et les tocophérols [212].

L'huile de graine de Pitaya peut aider à prévenir les maladies chroniques [213]. De plus, il a été rapporté qu'elle possède des effets antimicrobiens [214]. Il a été constaté que la microencapsulation de l'huile de graine de Pitaya à chair rouge, avec le caséinate de sodium et la protéine de lactosérum a augmenté sa stabilité à l'oxydation [215]

### **-Huile de carvi**

Les graines de Carvi sont utilisées comme épice dans la nourriture en raison de leur saveur agréable. L'huile essentielle de carvi a un pouvoir antioxydant, insecticide, antibactérien, fongicide, acaricide, molluscicide et larvicide [216]. L'huile essentielle de carvi est un composant important dans les préparations pharmaceutiques et aussi en médecine humaine en raison de son activité diurétique [217], antidiabétique [218], hypocholestérolémiant [219], et anticancéreuse. Récemment, il a été rapporté que les cataplasmes d'huile de carvi étaient efficaces dans le traitement du syndrome de l'intestin irritable [220]. La microencapsulation de l'huile de carvi avec la protéine de lactosérum concentrée a augmenté la rétention des composés volatils pendant le séchage par

pulvérisation, en plus d'améliorer les propriétés protectrices de capsules solidifiées contre l'oxydation et la libération de substances volatiles pendant le stockage [221].

### **-Huile du Margousier**

L'huile de Neem est un produit commercialisé, obtenue à partir des graines du margousier. Elle a été utilisée dans le traitement de diverses maladies inflammatoires, de paludisme, des troubles de la peau, des ulcères et provoque la guérison des plaies grâce à son activité antibactérienne, antifongique et antiparasitaire [222,223]. Le complexe polyélectrolyte de chitosane-carraghénane a été utilisé avec succès comme matrice efficace pour encapsuler l'huile de graines de margousier [224].

### **-Huile de Cumin**

Le Cumin (*Cuminum cyminum L.*, la famille des Umbelliferales) est une plante annuelle et l'une des épices et des condiments les plus couramment utilisés dans les préparations alimentaires. Le cumin fournit un goût et une saveur supplémentaires aux aliments et il est également utilisé en médecine traditionnelle [225]. L'huile volatile de cumin contient plus d'une douzaine de composants chimiques, y compris les terpènes (tels que le  $\beta$ -pinène, p-cymène et  $\gamma$ -terpinène), les aldéhydes (cuminaldéhyde, 1,3-p mentha et 3-p-menthen-7-al) et l'alcool terpénique (cuminyl de l'alcool) [226]. Au cours des dernières années, d'autres propriétés ont été étudiées incluant des effets antimicrobiens, anticancéreux, antidiabétiques et antioxydants [225,227]. Il a été rapporté que la microencapsulation de l'oléorésine de cumin par le mélange de la gomme arabique / maltodextrine / amidon modifié (4/6: 1/6: 1/6) était mieux que la gomme arabique seule, en stabilisant le contenu volatile (cuminaldéhyde,  $\gamma$ -terpinène, et p-cymène) [226].

### **-Huile de graine du poivre noir**

La Graine du poivre noir (*Piper nigrum*) est l'épice la plus importante et plus largement utilisée dans le monde. Le poivre noir est connu comme le "roi des épices" [228]. Ses huiles ont des effets antioxydants, et balayeur des radicaux libres, anti-inflammatoires, antinociceptives [229]. Il a été rapporté que la microencapsulation de l'oléorésine de poivre

noir en utilisant la gomme arabique était meilleure que l'amidon modifié dans la protection de la pipérine (alcaloïde) [230].

### **4-3-3- Les huiles obtenues à partir des fruits**

#### **-Huile des citrus**

Les fruits de citrus sont largement cultivés et consommés dans le monde entier. Leurs huiles essentielles sont un mélange de composés volatils, contenant principalement des hydrocarbures monoterpéniques, elles se concentrent particulièrement dans les pelures d'agrumes, les fleurs et les feuilles [231].

L'huile de zeste de mandarine est constituée de 3 composés principaux (limonène, limonène /  $\gamma$ -terpinène et linalyleacétate / limonène.), tandis que l'huile de feuille (de petit grain) contient les 3 autres composés (sabinène / linalol,  $\gamma$ -terpinène / linalol et le N-méthylanthranilate de méthyle) [232].

Les huiles essentielles d'agrumes ont été utilisées dans diverses industries, y compris les industries cosmétiques, pharmaceutiques, alimentaires et du tabac en raison de leur saveur et de leur parfum spécial ainsi que de leurs activités biologiques. Elles montrent une activité antioxydante en présence de composants volatils, dans lesquels le géraniol, le terpinolène, et  $\gamma$ -terpinène ont une forte activité d'élimination des radicaux libres ( $\alpha$ ,  $\alpha$ -diphényl- $\beta$ -picrylhydrazyl) [233]. Les principaux composants d'huile de combava sont, le  $\beta$ -pinène (30,6%) et le limonène (29,2%) qui ont des propriétés antibactériennes [234]. De plus, les huiles essentielles de citron, de mandarine, de pamplemousse et d'orange ont des activités antifongiques [235].

Dans les huiles essentielles d'agrumes, les composés volatils ne sont pas stables et peuvent être oxydés et détériorés lorsqu'ils sont exposés à haute température, à l'oxygène et à l'humidité. Donc, l'encapsulation peut être utilisée en appliquant la technique de séchage par pulvérisation. Dans le cas de l'huile de Combava, l'association de konjac glucomannane (KGM) et la gomme arabique (GA) en tant que matériau de membrane pourrait améliorer le rendement et la rétention totale d'huile dans les microcapsules, en comparaison avec le KGM seul [234].

Les huiles de zeste d'orange encapsulées avec la gomme de Mesquite ont montré une très bonne stabilité contre l'oxydation lorsqu'elles sont stockées à une activité d'eau qui atteint 0.628 à 35 ° C pendant 30 jours [236].

### **-Huile de pterodon (*Pterodon emarginatus*)**

L'huile essentielle extraite des fruits du genre *Pterodon* a été largement étudiée. Elle a de nombreuses activités pharmacologiques prouvées pour traiter la bronchite, l'amygdalite, la maladie de Chagas causée par *Trypanosoma cruzi*, et montre aussi des effets antimicrobiens, anti-inflammatoire, antinociceptive, et antioxydants [237,238,239].

Il a été observé que le  $\beta$ -caryophyllène (hydrocarbure sesquiterpénique) était le principal composé et le marqueur possible de la fraction volatile de cette espèce. La microencapsulation d'huile essentielle issue des fruits de *Pterodon emarginatus* en utilisant la gomme arabique et la maltodextrine ont montré une grande stabilité pendant le stockage avec une bonne rétention du  $\beta$ -caryophyllène sur 45 jours. De plus, les microcapsules possédaient un bon potentiel pour une utilisation en phytothérapie en raison de leur capacité à conserver et protéger l'huile essentielle contre la dégradation et l'évaporation [240].

### **-Huile de vanille**

L'huile de vanille est extraite de la plante de vanille, en particulier de son fruit vert. Elle est largement utilisée en parfumerie, dans les huiles corporelles, et les traitements de soin ou de beauté holistiques [241]. Le composé majeur d'huile de vanille est la vanilline, utilisée en tant qu'agent antioxydant, anticarcinogène et antimutagène grâce à son caractère phénolique [242]. La microencapsulation d'huile de vanille en utilisant le chitosane et la gomme arabique par la coacervation a amélioré sa rétention et sa thermostabilité pour servir en tant qu'additif alimentaire de haute qualité [241].

### **-Huile de Gac (*Momordica cochinchinensis*)**

L'huile de Gac contient un taux anormalement élevé de caroténoïdes, en particulier le  $\beta$ -carotène et le lycopène [243]. Ils aident à prévenir la xérophtalmie, l'héméralopie, la photopsie, et la faiblesse de vue. De plus, elle augmente le taux des globules rouges sanguins

et diminue le risque de cancer de la prostate. En outre, il peut être utilisé comme un complément. Des quantités significatives d'acides gras insaturés se trouvent dans les fruits de gac [244].

Il a été constaté que les capsules d'huile de Gac pouvaient être incorporées avec succès dans divers aliments pour que les consommateurs bénéficient des nutriments alimentaires et profitent de la couleur rouge-jaune attrayante [245].

### **-L'huile de grenade**

Le grenadier (*Punica granatum*) est l'un des fruits comestibles les plus anciennement connus contenant la concentration la plus élevée de polyphénols totaux par rapport aux autres fruits étudiés [246]. L'huile de graine de grenade se compose de 65 à 80% d'acides gras conjugués [247] et elle a la concentration botanique la plus élevée d'hormone sexuelle (œstrone) [248]. Elle présente des propriétés biologiques, telles que les propriétés antioxydantes et inhibitrices d'enzyme eicosanoïdes [249]. Elle a des effets sur la fonction immunitaire, le métabolisme des lipides, sur l'inhibition du photovieillissement, et protecteur contre la néphrotoxicité induite par la gentamicine, sachant qu'elle a été évaluée toxicologiquement sans effet nocif observé (soit 4,3g de l'huile de graine de grenade/ kg de poids corporel/jour) [250,251,252]. L'huile de grenade a été séchée à l'aide du séchage par atomisation et avec une efficacité d'encapsulation de 95,6% en utilisant la poudre du lait écrémé comme agent d'encapsulation [253].

### **-Huile de *Zanthoxylum limonella***

Elle est localement appelée "Ma-khan". Ses racines, ses écorces, ses tiges et ses fruits sont utilisés pour traiter le mal d'estomac et les maux de dents. L'huile de fruits de cette plante confère un effet stimulateur des différents tissus musculaires lisses [254]. En outre, les feuilles possèdent un effet répulsif (anti-moustique) [255], l'huile de *Zanthoxylum limonella* peut être encapsulé dans les microcapsules contenant un complexe de gélatine-chitosane réticulés avec la gènipine (confère une faible toxicité du produit), de plus, le taux de libération d'huile a diminué avec la diminution de la charge en huile, l'augmentation du pourcentage de la gènipine et la concentration de chitosane dans le mélange des polymères [256].

#### **4-3-4- Les huiles obtenues à partir des fleurs**

##### **-L'huile du clou de girofle**

Elle est obtenue par distillation des fleurs, tiges et feuilles du giroflier (*Eugenia caryophyllata*) [257]. L'huile essentielle du clou de girofle est antimicrobienne [258] et antioxydante [259]. Les humains ont utilisé cette huile pendant des siècles, comme anesthésique pour les maux de dents, les maux de tête et les douleurs articulaires, et aussi comme analgésique topique en dentisterie [260]. En outre, elle a été utilisée en aromathérapie des huiles, et comme un antiseptique buccal ou un analgésique. Elle est employée dans le monde entier comme agent aromatisant alimentaire. L'huile du clou de girofle a une activité contre *Listéria monocytogenes* dans la viande et le fromage [261]. La microencapsulation du clou de girofle riche en eugénol en utilisant la maltodextrine et la gomme arabique permet de contrôler la libération de ces extraits antioxydants [262].

##### **-Huile de lavande**

Le Lavandier a une variété d'utilisations en cosmétique et en phytothérapie [263].

L'huile de lavande (*Lavandula angustifolia*) est une huile essentielle qui a été largement utilisée dans l'alimentation, l'aromathérapie, les baumes parfumés, les onguents, les parfums, les eaux de Cologne, les savons, les lotions pour la peau, et d'autres produits cosmétiques, pour son arôme délicieux et la présence de plus de 30 composants [264,265,266]. Récemment, il a été démontré que l'huile de lavande avait une activité neuroprotectrice et améliorait les fonctions neurologiques, réduit l'œdème cérébral, et pourrait avoir un effet thérapeutique potentiel chez les patients victimes d'un AVC [263]. La technique de coacervation complexe a été employée avec succès en utilisant la gélatine et la gomme arabique (GA) comme matériaux encapsulants pour protéger l'huile de lavande [267].

#### **4-3-5- Les huiles obtenues à partir des racines**

##### **-Huile de Vétiver**

L'huile essentielle extraite des racines de plante de vétiver (*Chrysopogon Zizanioides*), a été utilisée en parfumerie et en médecine depuis longtemps en raison de ses propriétés

aromatiques et biologiques. Elle est constituée d'un mélange complexe d'alcools sesquiterpéniques, d'hydrocarbures, et plus de 300 composés. Elle est utilisée pour mélanger les parfums orientaux, en cosmétique et en aromathérapie. Récemment, il a été montré que cette huile a des nouvelles activités biologiques. Ses composants ont des effets antifongiques, antibactériens, anticancéreux, anti-inflammatoires et antioxydants, qui font de cette huile, un produit prometteur dans le domaine pharmaceutique [268]. Les microparticules de gélatine-gomme arabique réticulées ont été préparées par la coacervation complexe [269].



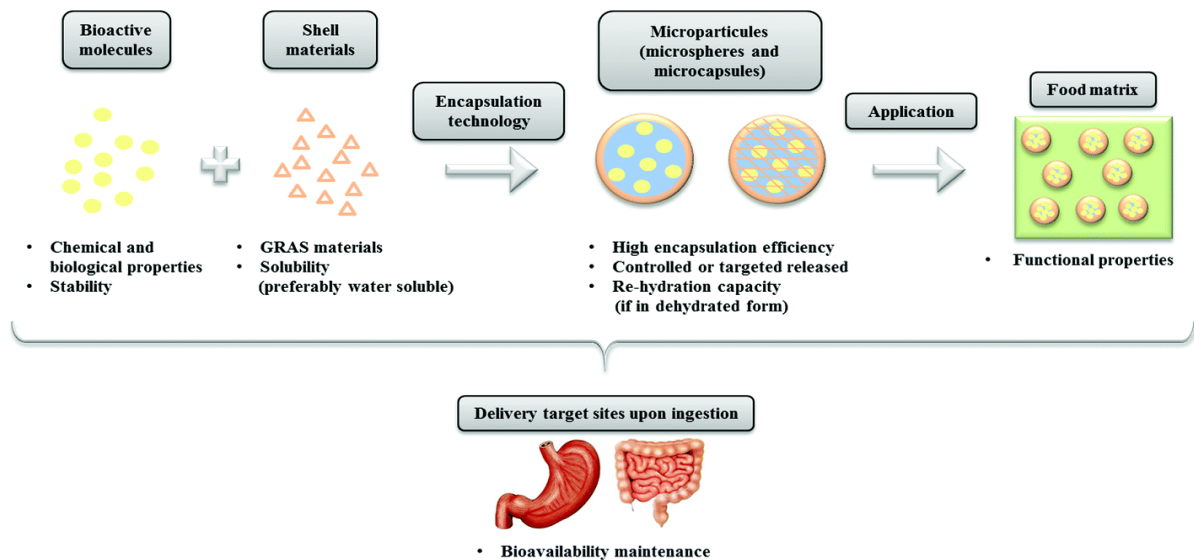
## PARTIE 3 :

### LES TECHNIQUES DE

### MICROENCAPSULATION DES HUILES



De nombreuses techniques ont été utilisées, notamment pour encapsuler les huiles marines, végétales et essentielles. Les plus couramment utilisées sont: l'émulsification, le séchage par pulvérisation, le système d'électro-spray coaxial, la lyophilisation, la coacervation, la polymérisation in situ, l'extrusion, l'enrobage en lit d'air fluidisé et la technologie des fluides supercritiques.



**Figure 4 :** Représentation schématique du principe général d'une technique de microencapsulation.

(<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/fo/c4fo01175a/unauth#!divAbstract>)

## 1-ÉMULSIFICATION

### 1-1-Principe :

L'émulsification est définie comme un processus de dispersion d'un liquide dans un second liquide non miscible. Le principe consiste à inclure le matériau de base dans l'un des liquides (organique) qui est dispersé en petites gouttelettes sphériques dans l'autre (aqueuse) pour encapsuler les composants bioactifs. Un système qui contient une dispersion des gouttelettes d'huile dans une phase aqueuse est appelée une émulsion huile dans l'eau (H /E),

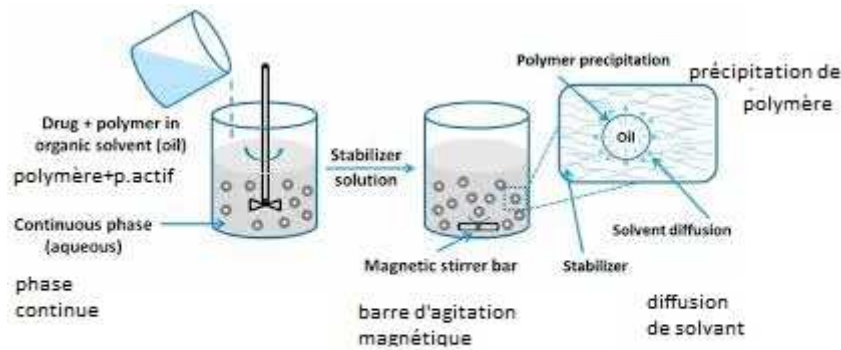
et le vice versa. Les émulsions sont préparées en homogénéisant l'huile, l'eau, et l'émulsifiant tous ensemble et à l'aide d'un dispositif mécanique connu sous le nom d'un homogénéisateur (un mélangeur à cisaillement élevé, un homogénéisateur à haute pression, un broyeur colloïdal, un sonicateur ou un homogénéisateur membranaire). Les gouttelettes d'huile étant entourées d'une fine couche interfaciale constituée de molécules d'émulsifiants qui stabilisent l'émulsion [270].

### **1-2-Usage :**

La technologie d'émulsification est une étape clé dans la microencapsulation des huiles. Elle est généralement utilisée pour l'encapsulation de composés bioactifs dans les solutions aqueuses, qui peuvent soit être utilisées directement à l'état liquide ou être séchées (par pulvérisation ou lyophilisation) après émulsification pour former des poudres.

Elle a été utilisée pour encapsuler l'huile de germe de blé et l'huile d'onagre en utilisant l'alginate de sodium avec une efficacité d'encapsulation maximale d'environ 88% pour les applications pharmaceutiques [271]. Les fonctionnalités supplémentaires d'émulsions peuvent être réalisées par l'utilisation de produits de réaction de Maillard pour l'encapsulation d'huile de poisson. Celle-ci a été émulsifiée avec des mélanges aqueux chauffés constitués d'une source de glucides (l'oligosaccharide, le sirop de glucose séché et le glucose) et de protéines (WPI, SPI, SC ou SMP) et suivie d'un séchage par pulvérisation pour produire des poudres huileuses [272].

Les avantages de ces systèmes sont une facilité relative de préparation et un faible coût, mais ils présentent des inconvénients de l'instabilité physique (lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, la congélation, le séchage, les pH extrêmes et les concentrations élevées de minéraux) et d'un contrôle de libération limité [270]. Les diamètres des gouttelettes d'émulsion obtenus dans les systèmes alimentaires varient de 0,1 à 100  $\mu\text{m}$  [273].



**Figure 5:** Technique d'émulsification [270].

## 2-SECHAGE PAR PULVERISATION (ATOMISATION)

### 2-1-Principe :

Le séchage par pulvérisation implique l'atomisation des émulsions dans une chambre de séchage à une température relativement élevée, ce qui conduit à une évaporation très rapide de l'eau, et par conséquent, la croûte formée à une vitesse rapide permet le piégeage quasi-instantané d'huiles [274].

La microencapsulation par cette technique implique 4 étapes, comme le montre la (figure 6)

- (i) La préparation de la dispersion,
- (ii) L'homogénéisation,
- (iii) L'atomisation de l'émulsion,
- (iv) La déshydratation des particules atomisées.

Généralement, dans la première étape, les matériaux de la paroi se dissolvent dans l'eau distillée avec agitation. Les solutions sont conservées toute la nuit dans une chambre ou un réfrigérateur pour assurer la saturation complète des molécules du polymère et d'éviter tout changement dû à la température. Le matériau du noyau (contient l'ingrédient active) est ajouté

aux solutions avec ou sans l'ajout d'un émulsifiant, en fonction des propriétés émulsionnantes des matériaux de la paroi, et tout cela avant la 2e étape.

L'émulsion formée doit être stable sur une certaine période de temps, avant l'étape de séchage par pulvérisation. La viscosité doit être suffisamment faible pour empêcher l'inclusion de l'air dans la particule, et les gouttelettes d'huile doivent être plutôt petites. La viscosité de l'émulsion et la distribution granulométrique ont des effets significatifs sur l'encapsulation car il est possible de former de grandes gouttelettes et allongées pouvant affectés de façon défavorable le taux de séchage. La viscosité élevée, peut interférer avec le processus d'atomisation [275]. Le séchage par pulvérisation nécessite également des conditions de fonctionnement bien ajustées, ainsi qu'une composition correcte de la solution contenant les principes actifs [276] afin d'obtenir une haute efficacité d'encapsulation. La température d'alimentation, la température d'entrée, et de sortie de l'air sont les principaux facteurs qui doivent être optimisés dans ce procédé [277]. En effet, la température d'alimentation modifie la viscosité et la fluidité de l'émulsion, donc sa capacité à être pulvérisée de manière homogène est négativement affecté. Lorsque la température d'alimentation est augmentée, la viscosité et la taille des gouttelettes devraient être diminuées. Cependant, l'évaporation ou la détérioration de certains composants thermosensibles peuvent être provoqués par les hautes températures. Pour s'assurer que chaque gouttelette pulvérisée atteint le niveau de séchage souhaité, le débit d'alimentation de l'atomiseur est ajusté, avant de pulvériser dans la chambre de séchage [278].

## **2-2-Usage :**

Le séchage par pulvérisation est la technique la plus couramment utilisée pour l'encapsulation des huiles. Cette technique a été utilisée avec succès depuis plusieurs décennies pour encapsuler diverses huiles dans l'industrie alimentaire. Récemment, plusieurs études ont été entreprises pour encapsuler les huiles à l'aide de cette technique dans les aliments, les cosmétiques, les médicaments [84], et les pesticides [197].

C'est une technique à faible coût qui permet de produire des microcapsules d'une manière relativement simple, continue et peu coûteuse, par rapport à d'autres techniques de microencapsulation. De plus, elle aide à obtenir un produit avec des propriétés fonctionnelles,

évite le risque de dégradation des produits chimiques et / ou biologiques et finalement, réduit les volumes de stockage et les frais de transport [279].

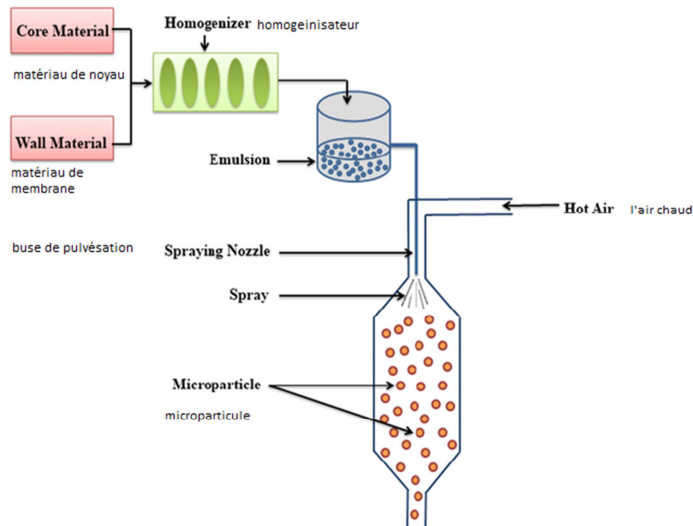
Dans cette technique, les gouttelettes d'émulsion initiale sont dans une gamme de 0,1 à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre [204].

Il est nécessaire de choisir les matériaux de membrane avec un rendement élevé pour encapsuler avec ce procédé car ils jouent un rôle important dans l'efficacité d'encapsulation et la stabilité des microcapsules. Les critères de sélection d'un matériau de membrane sont principalement basés sur leurs propriétés physicochimiques (la solubilité, le poids moléculaire, la transition vitrification / fusion, la cristallinité, la diffusibilité, la formation de film et les propriétés émulsifiantes). Son choix doit répondre à d'autres critères, y compris le force, la compatibilité avec le produit, une température ou une dissolution appropriée pour une libération contrôlée et la taille appropriée des particules [280]. Tous ces critères sont importants pour développer des capsules de bonne qualité.

### **2-3-Avantage et inconvénient :**

L'équipement de la technique de séchage par pulvérisation est facilement disponible et les coûts de production sont inférieurs par rapport à la plupart des autres méthodes. Elle a été considérée comme une solution pour les problèmes de séchage classiques car le processus s'est révélé non seulement efficace mais il est rapide et reproductible, permettant une mise à l'échelle facile par rapport à d'autres techniques d'encapsulation. Ceci justifie son utilisation préférée dans le secteur industriel [281]. Le processus est flexible, offrant ainsi une variation substantielle dans la matrice d'encapsulation et produit des particules de bonne qualité.

La limite de cette technique est le nombre limité de matériau de membrane disponibles qui doivent avoir une bonne solubilité dans l'eau. Un autre inconvénient qui devrait être considéré c'est qu'il produit une fine poudre de microcapsules nécessitant un traitement ultérieur comme l'agglomération.



**Figure 6:** Schéma d'une technique de séchage par pulvérisation [1].

### 3- SYSTEME ELECTROSPRAY COAXIAL

#### 3-1-Principe :

Le système électrospray coaxial est un processus qui consiste à injecter une solution du polymère et du noyau (ingrédient actif) à travers une tête de pulvérisation concentrique qui peut accueillir les deux solutions. Les arrivées sont coaxiales et simultanément pulvérisées par les deux canaux d'alimentation séparés dans cette buse. Il est composé de deux pompes à seringue, une buse en acier inoxydable contenant une aiguille et un générateur à haute tension. Les aiguilles de la buse ont respectivement un diamètre de 0,51 et 0,2 mm. Le liquide constituant de la membrane est préparé dans une pompe à seringue numéro (2) et le liquide de base a été injecté en utilisant la pompe à seringue numéro (1). Chaque seringue a été attachée à une pompe à seringue programmable. Une tension dans le champ de 0 à 30 kV et un courant limité à 2 mA généré par une génératrice haute tension a été appliqué à la buse coaxiale [282]. Sous l'effet des mouvements des charges, et la tension de surface, la forme de gouttelette se déforme jusqu'à prendre la forme d'un cône (nommé cône de Taylor). Le composé du cône de Taylor a une structure cœur-membrane, puisque la solution externe du polymère encapsule

l'intérieur du liquide. Ensuite les petites gouttelettes chargées sont formées lorsque le liquide encapsulé est cassé par des répulsions coulombiennes (Figure 7). Dès que ces pulsions coulombiennes entre charges positives du champ dépassent la tension de surface du liquide, un jet de gouttes chargées est émis à partir de la pointe du cône.

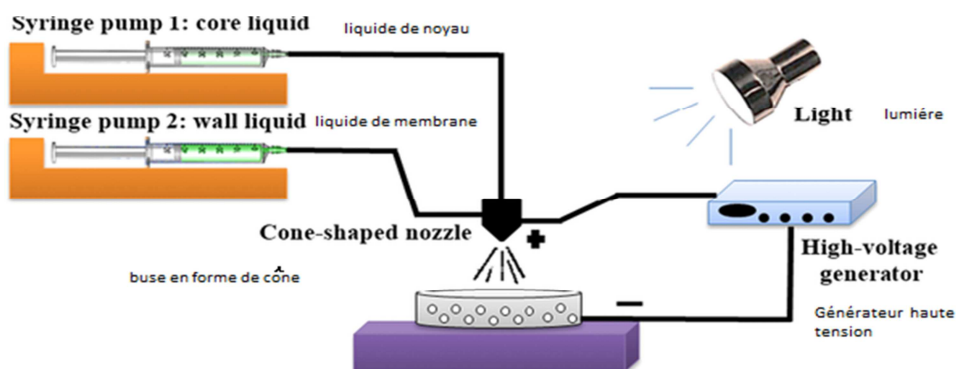
### **3-2-Usage :**

Le système électrospray coaxial est une nouvelle technique pour encapsuler les huiles dans l'industrie alimentaire, cosmétique et pharmaceutique [282].

Il permet la production de produits solides à partir des solutions qui ne peuvent être traitées à l'aide d'une méthode à un seul liquide, à condition que les solutions traitées qui constituent la membrane soient utilisées pour former un composé avec une structure cœur-membrane.

Les caractéristiques les plus remarquables de cette méthode sont sa facilité, rapidité, et son efficacité avec une rétention maximale du matériau de base, sachant qu'une efficacité maximale d'encapsulation (85,15%) a été obtenue avec l'encapsulation d'huile de menthe poivrée dans une matrice d'alginate et de pectine. L'efficacité de microencapsulation et la stabilité des microcapsules sont influencées par les matériaux de membrane [282]. En outre, elle a de nombreux avantages tels que la distribution uniforme de la taille, et la protection efficace des composants bioactives.

Cependant, le contrôle du processus d'électrospray est difficile dans une certaine mesure [283].



**Figure 7:** Schéma d'une technique d'électrospray coaxial [1].

## 4-LYOPHILISATION

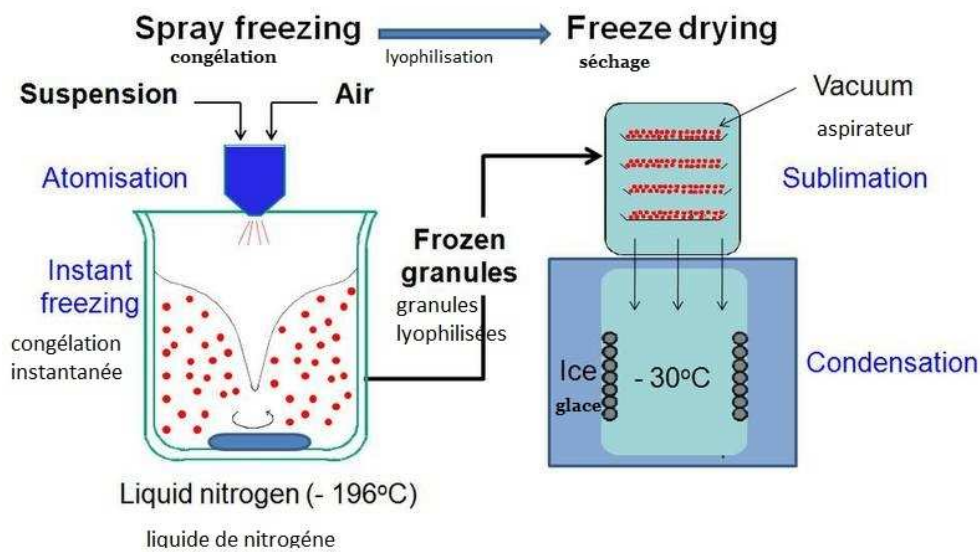
### 4-1-Principe :

La lyophilisation, également appelée la cryodéshydratation, est un processus simple utilisé pour la déshydratation des matériaux et les composés bioactifs thermosensibles comme des huiles. Avant de sécher, l'huile est dissoute dans l'eau et congelée (entre  $-90^{\circ}\text{C}$  et  $-40^{\circ}\text{C}$ ) avant le séchage puis la pression environnante est réduite et une chaleur assez ajoutée pour permettre à l'eau glacée de sublimer (passe directement de la phase solide à la phase gazeuse) dans le matériau sans le faire fondre [284]. Les matériaux lyophilisés semblent avoir une rétention maximum des composés volatils par rapport à ceux obtenus par séchage par pulvérisation [285]. Cependant, les structures poreuses des produits bioactifs lyophilisés provoquent une plus grande libération de drogue.

### 4-2-Usage :

Cette technique a été utilisée avec succès pour microencapsuler certaines huiles telles que l'huile de poisson, de la graine de lin, du noix et d'olive. Un rendement d'encapsulation plus élevé ( $99,79\% \pm 0,51$ ) a été atteint pour l'huile d'olive lorsque la MD, la CMC, et la lécithine ont été utilisés comme agents encapsulants. Le rapport huile/matériau de membrane était de 1/ 1,5 [104]. L'objectif principal de la lyophilisation est de protéger les

matériaux de base sensibles à la chaleur, en plus de sa simplicité et sa facilité d'emploi. Il a été constaté que les échantillons lyophilisés étaient plus résistants à l'oxydation et à la faible efficacité de l'encapsulation [2]. Les principaux inconvénients comportent une consommation d'énergie élevée, un temps de traitement long et les coûts de production élevés par rapport aux autres méthodes de séchage [286]. Les produits lyophilisés peuvent avoir une porosité plus élevée, exposant ainsi le matériau de noyau à l'environnement environnant.



**Figure 8:** Schéma d'une technique de lyophilisation.

(<http://www.powderpro.se/wp-content/uploads/2011/05/freeze-granulation-illustration.jpg>)

## 5-COACERVATION :

### 5-1-Principe :

La coacervation implique l'attraction électrostatique entre deux biopolymères de charges opposées, et la formation de coacervats se produit dans un intervalle étroit de pH. Dans cette technique, la phase liquide (huile) se sépare de la phase riche en polymère (coacervat). Le processus de coacervation est classé en coacervation simple et complexe. En coacervation

simple, le polymère est relargué par l'action d'électrolytes, tels que le sulfate de sodium, ou désolvaté par l'addition d'un solvant non miscible à l'eau, tel que l'éthanol, ou en augmentant et diminuant la température. Ces conditions favorisent les interactions macromolécule-macromolécule [287].

La coacervation complexe (figure 9) est un processus dans lequel deux ou plusieurs polymères de charges opposées sont impliqués. La première étape d'encapsulation d'une huile par ce processus implique l'émulsification d'huile dans une solution aqueuse contenant deux polymères différents (le plus souvent un polysaccharide et une protéine) à une température et un pH généralement au-dessus du point isoélectrique et de gélification de la protéine. La 2<sup>ème</sup> étape est la séparation de la phase liquide et la phase insoluble riche en polymères en raison de l'attraction électrostatique entre les charges opposées du polymère causés par l'abaissement du pH de la solution au-dessous du point isoélectrique de la protéine. La 3<sup>ème</sup> étape consiste à la formation de la membrane en raison du dépôt de la phase riche en polymères autour des gouttelettes hydrophobes (huile), suivie d'un refroidissement contrôlé au-dessous de la température de gélification. Dans la dernière étape, le durcissement des microcapsules est obtenu par l'ajout d'un agent de réticulation [288].

### **5-2-Usage :**

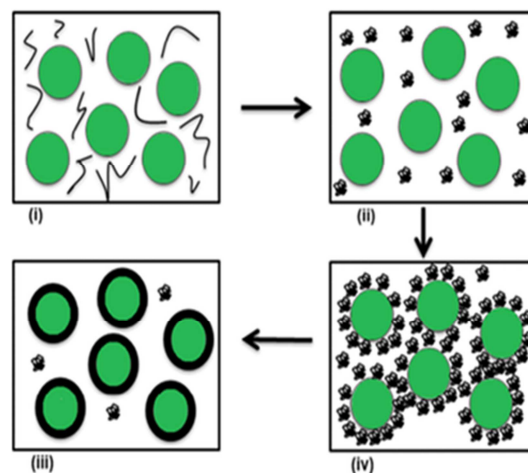
La coacervation est l'une des techniques d'encapsulation les plus anciennes et les plus utilisées. Le processus de coacervation est largement utilisé dans l'alimentation [171] [241], le domaine pharmaceutique [171] [287], la cosmétique [267], et l'industrie des pesticides [17].

La coacervation simple a été utilisée pour encapsuler l'huile de poisson, de basilic, de citronnelle et de théier [171]. Elle permet facilement la production de microcapsules contenant des substances hydrophobes, comme des huiles marines, végétales et essentielles. Elle offre des avantages importants par rapport à la coacervation complexe grâce à sa technique moins coûteuse et flexible. Pour induire une phase de séparation, la coacervation simple utilise des sels inorganiques bon marché, tandis que la coacervation complexe est plus sensible à même d'un petit changement de pH. De plus, la coacervation complexe utilise relativement des hydrocolloïdes coûteux [150].

La technique de coacervation complexe a également été utilisée pour encapsuler des huiles de poissons, des microalgues, des graines de lin, des olives, des clous de girofle, de tournesol, de menthe poivrée, d'orange douce, de vétiver, d'huiles de graines de Neem, de lavande, de vanille et de *Zanthoxylum limonella* et du camphre [241].

La technique de coacervation complexe produit des microcapsules avec une faible surface d'huile, une teneur et une stabilité supérieures de celles des émulsions produites par séchage par pulvérisation. Aussi, les microcapsules produites par coacervation possèdent d'excellentes caractéristiques de libération contrôlée et de résistance à la chaleur [67].

L'avantage majeur de la coacervation complexe sur d'autres méthodes est son taux d'encapsulation (99%). De plus, cette méthode est simple, évolutive, de faible coût par rapport à séchage par pulvérisation, sans solvant, et reproductible. Par conséquent, la coacervation complexe peut être utilisée pour la fabrication de microcapsules à l'échelle industrielle [267].



**Figure 9:** Exemple de coacervation complexe : Impliquant (i) une émulsification de l'huile dans une solution aqueuse contenant deux polymères différents, (ii) une coacervation initiale des polymères après l'abaissement du pH de la solution au-dessous du point isoélectrique de la protéine, (iii) le dépôt des polymères sur la surface de l'huile, et (iv) le durcissement de la paroi par l'addition d'un agent de réticulation [1].

## **6-POLYMERISATION IN SITU**

### **6-1-Principe :**

La polymérisation in situ consiste en formation d'une membrane via l'addition d'un réactif à l'intérieur ou l'extérieur du matériau de base (huile) [137]. La polymérisation se produit dans la phase continue plutôt que dans les deux côtés de l'interface entre le matériau de base et la phase continue. Le processus de formation des microcapsules est mené par l'émulsion d'huile dans la solution de résine (mélamine- formaldéhyde) et par la sonication qui permet d'émulsionner l'huile dans la phase aqueuse, puis la résine est ajoutée sous agitation puis on ajuste l'émulsion à un pH acide et enfin on obtient une formation de paroi sur les microcapsules. Ce processus favorise la réaction de mélamine avec le formaldéhyde à l'interface des gouttelettes d'huiles en produisant un film de polymère de mélamine-formaldéhyde réticulé qui constitue la membrane de la microcapsule.

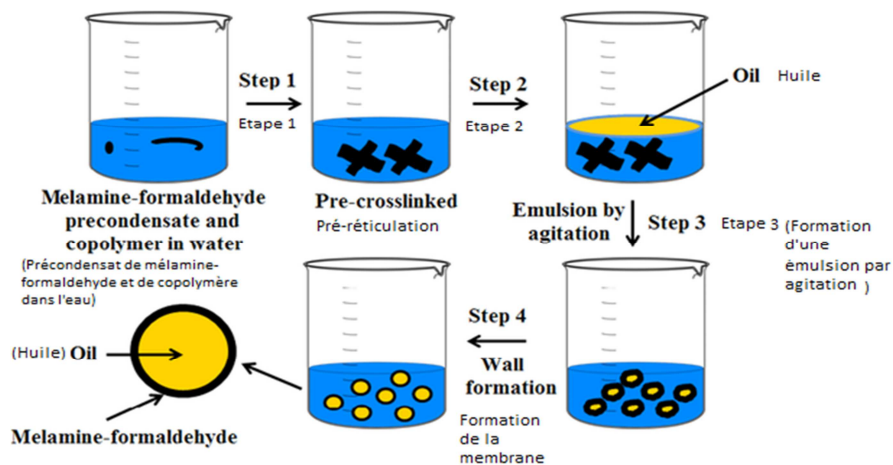
La technique de polymérisation in situ peut être résumée en quatre étapes comme montré dans la figure 10. Le mélamine-formaldéhyde pré-condensé et le copolymère sont pré-réticulés premièrement dans l'eau (étape 1); l'huile est ajoutée (étape 2) pour former une émulsion H/ E par agitation (étape 3); la température de l'émulsion est ensuite augmentée pour conduire à la polymérisation du monomère et du copolymère pré-réticulé et former une membrane sur la surface d'huile dispersée (étape 4).

### **6-2-Usage :**

La technique de polymérisation in situ est couramment utilisée pour la préparation de microcapsules et de fibres fonctionnelles. La caractéristique distinctive de la polymérisation in situ, plutôt que toute autre processus d'encapsulation, c'est qu'aucun réactif n'est inclus dans le matériau de base (huile).

Les microcapsules d'huiles de menthe poivrée, de thym et de théier sont préparées par cette technique, en utilisant un système de résine mélamine-formaldéhyde. Elles sont utilisées pour leur effet insectifuge, dans l'emballage alimentaire, en parfumerie, et dans les chaussures. Les microcapsules d'huile de menthe poivrée à base de résine mélamine-formaldéhyde donnent des morphologies de surface lisse, et capable de préserver les huiles

aromatiques encapsulées pendant une période de temps suffisante. En outre, les microcapsules d'huile de thym ayant une surface lisse ont montré de bonnes propriétés thermiques et une libération prolongée [137,188].



**Figure 10:** Technique de polymérisation in Situ [1].

## 7-EXTRUSION

### 7-1-Principe :

Le mot extrusion, du latin extrudere signifie « pousser dehors », est une technique d'encapsulation qui comprend trois principaux processus (figure 11) :

- (i) La fusion-injection,
- (ii) La fusion-extrusion,
- (iii) L'extrusion centrifuge (coextrusion),

Dans le processus de fusion-injection, l'huile est dispersée dans les glucides fondus, puis le mélange est pressé à travers une ou plusieurs matrices (orifices) dans un bain liquide froid déshydratant tel que l'isopropanol et l'azote liquide. Le matériau de membrane solidifie avec

le liquide, formant une matrice d'encapsulation pour piéger le matériau de noyau. Les granules sont récupérés par filtration ou centrifugation [figure 11 (i)]. Ensuite, le solvant résiduel est éliminé par séchage à l'air ou par séchage sous vide.

Le procédé de fusion-extrusion est similaire à celui de fusion-injection. Les différences majeures sont que ce dernier est un processus vertical sans vis avec des particules lavées en surface, tandis que le premier est un processus horizontal avec vis, et les particules ne sont pas lavées en surface.

Les extrudeuses utilisées dans le procédé fusion-extrusion sont des cylindres qui contiennent des mélangeurs thermomécaniques composés d'une ou plusieurs vis, et les extrudeuses à double vis équipées par des vis autotaraudeuses sont préférées pour l'encapsulation [Figure 11 (ii)] [289].

L'extrusion centrifuge (coextrusion) est un autre type spécial d'extrusion qui consiste en un seul tube d'alimentation concentrique à travers lequel les matériaux de noyaux et de parois sont pompés séparément aux nombreuses buses montées sur la surface extérieure de l'appareil [55]. Le matériau de noyau circule à travers le tube central, alors que le matériau de mur s'écoule à travers le tube externe [Figure 11 (iii)].

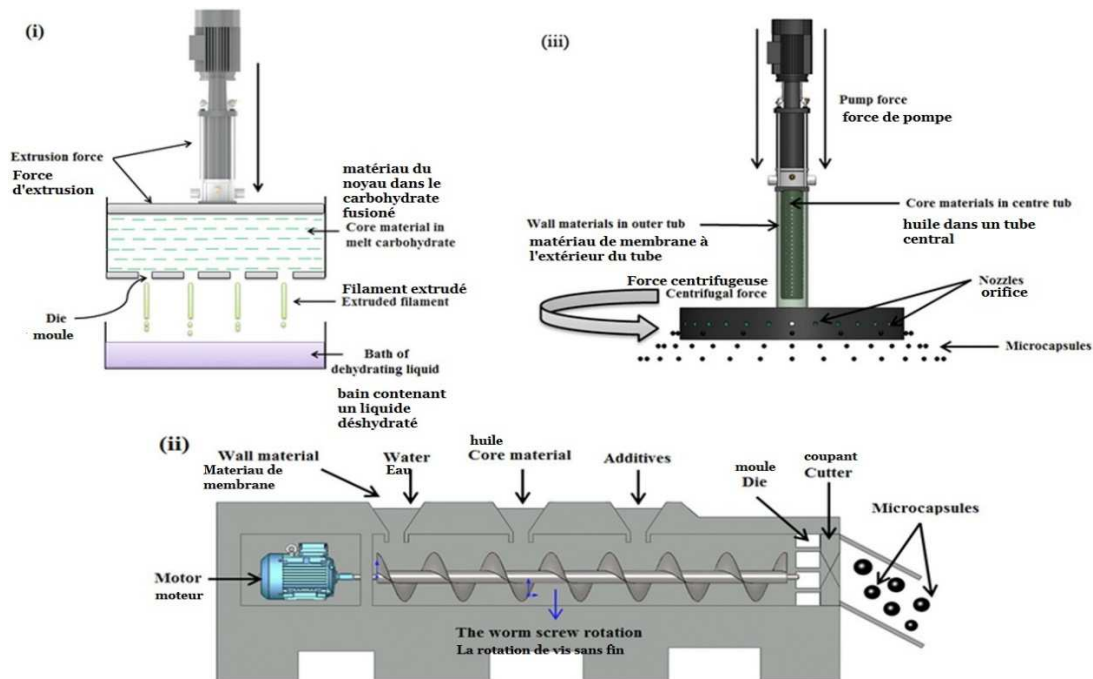
### **7-2-Usage :**

Récemment, la technique d'extrusion a été utilisée pour encapsuler des légumes et des huiles essentielles, dans l'industrie alimentaire et des pesticides [290,291].

Elle a été employée presque exclusivement pour la microencapsulation d'huiles dans une matrice glucidique. Les huiles du clou de girofle, de thym, et de cannelle ont été encapsulées par cette technique pour réduire le taux d'évaporation, augmentant ainsi leur activité antifongique [290].

La stabilité oxydative des huiles microencapsulées peuvent être améliorées en mélangeant des antioxydants acides (par exemple, acide citrique, acide caféique, acide ascorbique ou acide érythorbique) avec la matrice pour empêcher le contact de l'oxygène avec l'huile [291].

Il a été démontré que l'ajout d'un matériau du noyau à une matrice de support plastifié à un stade ultérieur du procédé d'extrusion par vis protège les composés bioactifs sensibles (AGPI) contre les conditions d'extrusion difficiles.



**Figure 11:** représentation schématique de la technique d'extrusion [1].

- (i) La fusion-injection
- (ii) La fusion-extrusion
- (iv) L'extrusion centrifuge

## 8-TECHNOLOGIES DES FLUIDES SUPERCRITIQUES

### 8-1-Principe :

Les fluides supercritiques sont des gaz très compacts qui possèdent plusieurs propriétés avantageuses à la fois pour les gaz et les liquides. Cette technique consiste sur la précipitation des gaz antisolvant, les particules issues de solutions saturées en gaz, l'extraction des liquides

dans l'émulsion, et l'expansion rapide de solutions supercritiques [292]. Cet appareil fonctionne en mode discontinu et consiste en une cuve d'imprégnation en acier inoxydable à haute pression, un bain à une température contrôlée, une plaque d'agitation magnétique, un transducteur de pression et une pompe à liquide de dioxyde de carbone. La cellule d'imprégnation est alimentée avec une quantité fixe d'huiles essentielles au fond. Les matériaux de membrane sont placés dans une maille inoxydable élevée du fond par un support.

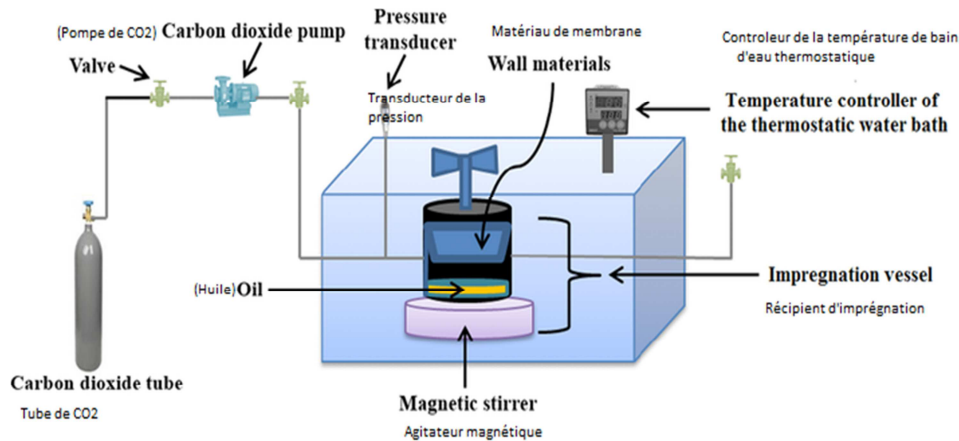
Les huiles essentielles peuvent être dégradées par l'utilisation des hautes températures de traitement pour le processus d'atomisation (au-dessus de 80 ° C) et par la présence d'oxygène, puisque le gaz de séchage normal est l'air comprimé. Alternativement, l'imprégnation du solvant supercritique a été appelée "un processus plus doux", et c'est un processus respectueux de l'environnement où le dioxyde de carbone supercritique est utilisé comme un solvant vert. L'appareil utilisé pour l'imprégnation supercritique est représentée schématiquement sur la figure 12. Après le chargement des huiles et des matériaux de membrane, la cellule d'imprégnation est immergée dans le bain d'eau à basse température de moins de 80 ° C et le dioxyde de carbone est ensuite introduit dans la cellule jusqu'à ce que la pression soit obtenue afin d'assurer la solubilisation des ingrédients actifs dans le dioxyde de carbone supercritique [128].

Récemment, le procédé d'imprégnation, en utilisant un solvant supercritique, s'est avéré efficace pour une grande variété de substances (huiles essentielles, parfums, composés pharmaceutiques actifs, et colorants) et de matrices (bois, polymères, coton et lentilles de contact).

### **8-2-Usage :**

L'encapsulation des huiles essentielles à l'aide de la technologie des fluides supercritiques a beaucoup d'importance pour les industries pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires. Elle présente plusieurs avantages inhérents: la non toxicité, le rejet facile du solvant, pas de dégradation du produit, et l'utilisation d'une grande variété de matériaux produisant des particules de tailles et de morphologies contrôlées.

Il a été démontré que l'encapsulation d'huile essentielle d'origan, avec différentes catégories d'amidon en utilisant la technique des solvants supercritiques permet de préserver son activité antioxydante, d'éviter la dégradation de l'huile, et assure une grande diffusivité de dioxyde de carbone supercritique dans la matrice solide d'amidon tout en ajustant l'imprégnation du dioxyde de carbone supercritique à 10 MPa, 40 ° C, 6 h, avec un rapport de masse de 1,5, et une diminution du taux de dépressurisation [128].



**Figure 12:** Représentation schématique de la technique des fluides supercritiques [1].

## 9-ENROBAGE EN LIT D'AIR FLUIDISE

### 9-1-Principe :

L'enrobage en lit d'air fluidisé a d'autres termes tels que "enrobage en suspension pneumatique" ou "enrobage par pulvérisation". C'est une technique qui compte sur la suspension des particules solides du matériau de noyau par un flux d'air sous le contrôle de la température et l'humidité, puis la pulvérisation du matériau de la membrane. Avec le temps, le matériau de membrane va progressivement construire une couche mince sur la surface des particules en suspension. Il doit avoir une viscosité acceptable pour favoriser l'atomisation et le pompage, il doit être capable de former un film approprié sur la surface d'une particule, et il doit être thermiquement stable [293]. La quantité de matériau qui enrobe les particules dépend

de la durée de présence des particules dans la chambre. Les différentes méthodes de lit fluidisé incluent la pulvérisation par le haut, la pulvérisation par le bas et la pulvérisation tangentielle (la figure 13). Dans le système de pulvérisation supérieur, la solution d'enrobage est pulvérisée avec l'air contre le courant vers le bas sur le lit fluide, même que les particules solides ou poreuses se déplacent vers la région de l'enrobage, ils deviennent microencapsulés. Les flux opposés des matériaux de membrane et des particules conduisent à l'augmentation d'efficacité d'encapsulation et la prévention de la formation de grappes.

La pulvérisation par le bas, connu sous le nom de système de Wurster, utilise une chambre de revêtement qui a une buse cylindrique en acier inoxydable et une plaque de fond sous forme d'un crible. La buse cylindrique en acier inoxydable est utilisée pour la pulvérisation du matériau de membrane pendant le processus. Lorsque les particules se déplacent du bas en haut à travers la plaque inférieure criblée et passe la zone de buse, ils sont microencapsulés par le matériau de revêtement, qui adhère à la surface de la microcapsule par l'évaporation du solvant ou le refroidissement de la particule microencapsulée. Ce processus est poursuivi jusqu'à obtention de l'épaisseur et du poids désirés.

Le pulvérisateur tangentiel se compose d'une chambre de revêtement avec un fond rotatif du même diamètre que la chambre. Pendant le processus, le tambour s'est élevé pour créer un espace avec le bord de la chambre. La buse tangentielle est placée au-dessus du tambour rotatif à travers lequel le matériau de membrane est libéré. Ensuite, les particules se déplacent via le trou dans la zone de pulvérisation et elles sont encapsulées [55]. En résumé, pendant le traitement du système de pulvérisation tangentielle, il y a 3 forces mécaniques qui provoquent le mouvement des particules, le mélange et la granulation. Celles-ci sont la force centrifuge (générée par la rotation du tambour), la force d'élévation (générée par le volume d'air de processus qui traverse l'écart de tambour adaptable), et la gravité. Ces forces fournissent un bon mélange et entraînent la formation de particules avec une bonne symétrie de contenu.

## **9-2-Usage :**

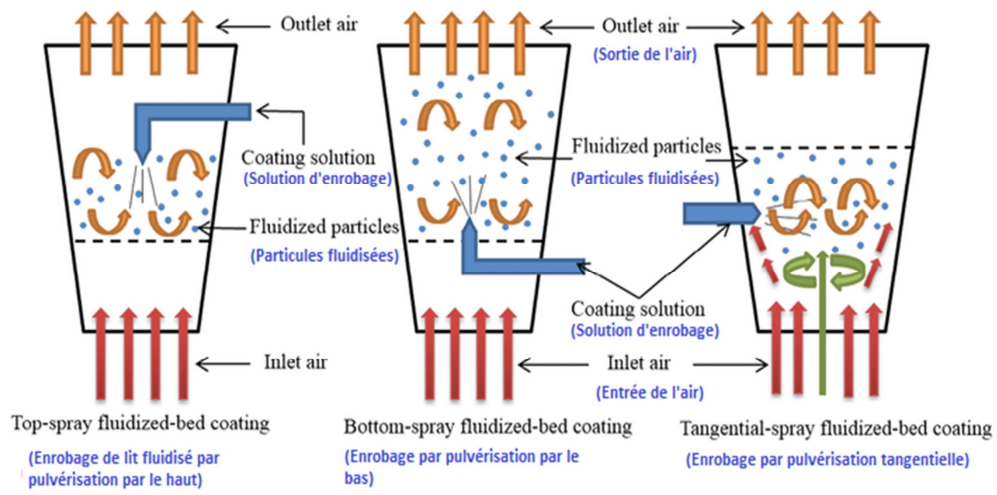
L'enrobage en lit d'air fluidisé est l'une des méthodes d'enrobage les plus efficaces, qui trouve toujours des applications croissantes dans les industries pharmaceutiques et alimentaires. Dans ce processus, tous les ingrédients peuvent être mélangés, granulés et

séchés dans le même récipient, en réduisant ainsi le temps de manipulation et du traitement des matériaux par rapport aux autres processus granulométriques.

Les particules enrobées par le lit fluidisé doivent être sphériques et denses, et ils devraient avoir une distribution granulométrique étroite et une fluidité parfaite. Les particules non sphériques ont la plus grande surface possible et nécessitent plus de matériau de membrane pour la même épaisseur de la paroi que les particules sphériques, tandis que si les bords sont coupants, ils vont endommager le revêtement pendant la manipulation. De plus, à cause de la présence, des sacs filtrants dans la partie supérieure de la machine, il est probablement que les particules fines et denses s'accumulent dans ces filtres. Plus de matériau de revêtement peut être appliqué si nécessaire pour la génération de la poudre [293].

Le système de pulvérisation par le haut a été utilisé avec succès pour revêtir les matériaux et obtenir de très petites microcapsules de taille comprise entre 2 et 100  $\mu\text{m}$ . La pulvérisation par le fond est largement utilisée pour revêtir des particules petites que 100  $\mu\text{m}$ . L'enrobage en lit fluidisé par la pulvérisation par haut produit des rendements plus élevés en particules microencapsulées que celui par la pulvérisation par fond ou la pulvérisation tangentielle.

Récemment, la méthode de revêtement à lit fluidisé a été utilisée pour encapsuler l'huile de poisson en pulvérisant cette huile dans une chambre en lit fluidisé suivie d'un pelliculage des granulés [294].



**Figure 13:** Représentation schématique de la technique d'enrobage en lit d'air fluidisé [1].



## CONCLUSION GENERALE



En raison de leurs propriétés biologiques, fonctionnelles et physicochimiques, les huiles sont utilisées dans la préparation de produits sécurisés ayant un impact positif sur la santé du consommateur. Néanmoins, elles sont chimiquement instables et sensibles à la dégradation. L'encapsulation est un outil efficace et important pour la préparation de produits bénéfiques pour la santé dans diverses industries afin d'améliorer leur stabilité chimique, oxydative et thermique. La durée de conservation, l'activité biologique et fonctionnelle, la libération contrôlée, les propriétés physicochimiques, et la qualité globale des huiles peuvent également être renforcées. Le séchage par pulvérisation et la coacervation sont les techniques les plus utilisées pour l'encapsulation des huiles. Les huiles encapsulées ont été appliquées avec succès dans divers aliments et produits pharmaceutiques, en textiles, et dans les produits antiparasitaires.



## LES PERSPECTIVES D'AVENIR



Les futures recherches doivent être dirigées vers l'utilisation de la technologie de microencapsulation pour encapsuler un mélange de différentes huiles en variant les techniques. De cette manière, le mauvais goût des huiles peut être masqué, en plus la sécurité, la qualité et la valeur nutritionnelle du produit peuvent également être améliorées. En outre, plus d'une technique d'encapsulation peut être utilisée dans le processus. D'autres futures suggestions comprennent la purification et l'utilisation des déchets d'usine comme des matériaux de membrane, réduisant ainsi le coût économique du processus d'encapsulation. Pour augmenter la durée de conservation des produits alimentaires, les huiles encapsulées peuvent être utilisées comme des films et des enrobants antimicrobiens comestibles contenant cette huile microencapsulée et un agent antimicrobien. Ceci permettra de diminuer les pertes économiques, en particulier les produits laitiers comme le fromage qui est sensible aux attaques fongiques pendant la maturation et le stockage. Dans les produits pharmaceutiques, elle peut être appliquée dans les bandages adhésifs pour contrôler l'apparition d'infections, et chez les patients en fauteuil roulant pour éviter les infections de la peau.



## RESUME



## Résumé

**Titre :** La microencapsulation des huiles : Meilleure approche pour la valorisation des produits alimentaires ?

**Auteur :** ABDALLAOUI Rachid

**Mots Clés :** Microencapsulation; huile; matériau de membrane; conservation.

De nombreux aliments, notamment les huiles, peuvent s'altérer pendant leur stockage avant utilisation. L'altération peut être physique et/ou chimique. Plusieurs procédés sont proposés pour améliorer la conservation de ces aliments et garder leur composition initiale. Dans le cas des huiles, l'encapsulation est un procédé potentiellement bénéfique pour leur protection et leur bonne conservation. Elle consiste à construire une barrière fonctionnelle entre le noyau (huile) et le matériau de membrane pour éviter les réactions chimiques et physiques, et maintenir leurs propriétés biologiques, fonctionnelles et physicochimiques. La microencapsulation a la capacité de protéger l'huile contre l'oxydation, et d'améliorer la thermostabilité, par conséquent la durée de conservation des huiles. En outre, elle peut également être utile pour prévenir la volatilité et la libération des huiles essentielles.

La microencapsulation des huiles (fixes, ou essentielles) est réalisée en utilisant différentes méthodes comprenant l'émulsification, le séchage par pulvérisation, le système électrospray coaxial, la lyophilisation, la coacervation, la polymérisation "in situ", la fusion-extrusion, la technologie de fluide supercritique et l'enrobage en lit fluidisé. Le séchage par pulvérisation et la coacervation sont les techniques les plus couramment utilisées pour la microencapsulation des huiles. Le choix approprié de la technique et le matériau de la membrane dépend de l'utilisation finale du produit et des conditions impliquées dans le processus.

Les huiles microencapsulées ont trouvé de larges applications dans divers produits alimentaires, pharmaceutiques et même textiles. Les objectifs recherchés sont: Préserver les propriétés fonctionnelles de diverses huiles, valoriser et prolonger la durée de conservation de certains produits.

## **Abstract**

**Title:** Microencapsulation of oils: Better approach for valuation of food products

**Author:** ABDALLAOUI Rachid

**Key words:** Microencapsulation; oil; membrane material; retention.

Many foods, especially oils, may be altered during storage before use. The alteration can be physical and / or chemical. Several methods are proposed for improving the retention of these foods and keeping their initial composition. In the case of oils, encapsulation is a potentially beneficial process for their protection and their good retention. It consists of constructing a functional barrier between the core (oil) and the membrane material to avoid chemical and physical reactions, and maintain their biological, functional and physicochemical properties. It has the ability to protect oils against oxidation, and improve heat tolerance, accordingly the validity period of oils. In addition, it can also be useful for preventing the volatility and the characteristics of the release of essential oils.

La microncapsulation of oils (fixed or essential) is carried out by using different methods including emulsification, spray drying, coaxial electrospray system, freeze drying, coacervation, in situ polymerization, melt-extrusion, supercritical fluid technology and fluidized-bed-coating. The Spray-drying and the coacervation process are the most commonly techniques used for the microencapsulation of oils. The appropriate choice of the technique and the membrane materials ultimately depends on a product final use and the processing conditions involved.

Microencapsulated oils have found wide applications in various products, especially foods, pharmaceuticals and even textiles products. The objectives sought to be achieved are: Preserve the functional properties of various oils, valorize and extend the shelf life of some products.

# ملخص

العنوان: الكبسلة الدقيقة للزيوت: النهج الأفضل لتحسين المنتجات الغذائية؟

الكاتب: رشيد عبدالوي

الكلمات الأساسية: كبسلة دقيقة؛ زيت؛ مادة الغشاء؛ حفظ.

يمكن للعديد من الأغذية، خاصة الزيوت، أن تتضرر أثناء التخزين قبل الاستخدام. قد يكون الضرر عاملاً فيزيائياً و / أو كيميائياً. لذلك تم اقتراح عدة طرق لتحسين الحفاظ على هذه الأطعمة والإبقاء على مكوناتها الأساسية. في حالة الزيوت، تعتبر الكبسلة عملية مفيدة على الأرجح لحمايتها وحفظها الجيد. وتمكن هذه التقنية من بناء حاجز وظيفي بين النواة (الزيت) ومادة الغشاء لتجنب التفاعلات الكيميائية والفيزيائية والحفاظ على خصائصها البيولوجية والوظيفية والفيزيوكيميائية لهذه الزيوت. الكبسلة الدقيقة لديها القدرة على حماية الزيت من الأكسدة وتحسين الثبات الحراري، ومن ثم مدة الحفاظ على الزيوت. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون مفيدة أيضاً في التحكم في تطاير الزيوت العطرية وخصائص إطلاقها.

يتم كبسلة الدقيقة للزيوت (الثابتة، أو العطرية) باستخدام أساليب مختلفة تضم الاستحلاب، التجفيف بالرش، نظام الكترولسبراي متحد المحور، والتجفيف بالتجميد، التكتل، البلمرة في الموقع، تقنية انصهار-تشكل، تقنية مائع فوق حرج، وتقنية الطلاء على السريير المميع. تعتبر تقنية التجفيف بالرش والتكتل من أكثر التقنيات شيوعاً من أجل الكبسلة الدقيقة للزيوت. يعتمد الاختيار المناسب للتقنية ومواد الغشاء في النهاية على الاستخدام النهائي للمنتج والظروف الناتجة عن العملية.

وقد وجدت الزيوت المكبسلة الدقيقة تطبيقات واسعة في مختلف المنتجات الغذائية والمستحضرات الصيدلانية وحتى المنسوجات. الأهداف المبحوث عنها هي: الحفاظ على الخصائص الوظيفية لمختلف الزيوت، ثم تحسين وإطالة مدة صلاحية بعض المنتجات.



## RÉFÉRENCES

## BIBLIOGRAPHIQUES



- [1] **Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A. and Liang, L. (2016)**, Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15: 143–182. doi: 10.1111/1541-4337.12179.
- [2] **Velasco J, Dobarganes C, Marquez-Ruiz G. 2003**. Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas Aceites* 54:304–14.
- [3] **Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, N. (1999)**. Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 50, 213–224.
- [4] **Murua, A., Portero, A., Orive, G., Hernandez, R. M., de Castro, M., & Pedraz, J. L. (2008)**. Cell microencapsulation technology: Towards clinical applications. *Journal of Controlled Release*, 132, 76–83.
- [5] **Jaganathan, H., & Godin, B. (2012)**. Biocompatibility Assessment of Si-based Nano- and Micro-particles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(15), 1800–1819. <http://doi.org/10.1016/j.addr.2012.05.008>.
- [6] **Yoshizawa H (2004)** Trends in microencapsulation research. *KONA* 22:23–31.
- [7] **Nelson G (2002)** Application of microencapsulation in textiles. *Int J Pharm* 242:55–62.
- [8] **S.K. Ghosh**, Functional coatings and microencapsulation: A general perspective, in: Swapan Kumar Ghosh (Ed.) *Functional Coatings*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, pp. 1–28.
- [9] **L. Zev**, Microencapsulation: an overview of the technology landscape, in: R. Rosen Meyer (Ed.) *Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products*, William Andrew Publishing, Norwich, NY, 2005, pp. 181–190.
- [10] **J.A. Wesselingh, S. Kill, M.E. Vild**, Design & Development of Biological, Chemical, Food and Pharmaceutical Products, In: Wiley (Ed.), Chichester, UK, 2007.
- [11] Obtained on ISI web of knowledge, April 2013; timespan = all years and keywords: microcapsules and application, ISI, isi.

- [12] **Sanguansri, L., Day, L., Shen, Z., Fagan, P., Weerakkody, R., Cheng, L. J., ... Augustin, M. A. (2013).** Encapsulation of mixtures of tuna oil, tributyrin and resveratrol in a spraydried powder formulation. *Food & Function*, 4, 1794–1802.
- [13] **Theodoulou, F. L., & Eastmond, P. J. (2012).** Seed storage oil catabolism: a story of give and take. *Current Opinión in Plant Biology*, 15, 322–328.
- [14] **Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007).** Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, 46, 244–282.
- [15] **Chen, B., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2011).** Minor components in food oils: a critical review of their roles on lipid oxidation chemistry in bulk oils and emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 901–916.
- [16] **Iqbal, M., Zafar, N., Fessi, H., Elaissari, A., 2015.** Double emulsion solvent evaporation techniques used for drug encapsulation. *Int. J. Pharm.* 496, 173–190. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.10.057>.
- [17] **Solomon B, Sahle FF, Gebre-Mariam T, Asres K, Neubert RHH. 2012.** Microencapsulation of citronella oil for mosquito-repellent application: formulation and in vitro permeation studies. *Eur J Pharm Biopharm* 80:61–6.
- [18] **Jaafar F, Lassoued MA, Sahnoun M, Sfar S, Cheikhrouhou M. 2012.** Impregnation of ethylcellulose microcapsules containing jojoba oil onto compressive knits developed for high burns. *Fiber Polym* 13:346–51.
- [19] **Sariisik M, Okur S, Asma S. 2012.** Odor adsorption kinetics on modified textile materials using quartz microbalance technique. *Acta Phys Pol A* 121:243–6.
- [20] **Wandrey C., Bartkowiak A. & Harding S.E.** Materials for Encapsulation In: Zuidam N.J., Nedovic, V.A. (Eds.) *Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing*, Springer: Dordrecht, The Netherlands; 2009, p. 31-100.

- [21] Vos P., Faas M.M., Spasojevic M. & Sikkema J. Review: Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *Int Dairy J* 2010; 20:292-302.
- [22] McClements D. & Lesmes U. Structure-function relationships to guide rational design and fabrication of particulate food delivery systems. *Trends Food Sci Technol* 2009; 20:448-57.
- [23] Ye A, Cui J, Taneja A, Zhu X, Singh H. 2009. Evaluation of processed cheese fortified with fish oil emulsion. *Food Res Int* 42:1093–8.
- [24] Rouse M, Boeneke CA, O'Brien KV, Aryana K. 2012. Effect of oil based and microencapsulated omega-3 fatty acids on physical and chemical properties of processed cheese. *Milchwiss-Milk Sci Int* 67:267–9.
- [25] Bermudez-Aguirre D, Barbosa-Canovas GV. 2011. Quality of selected cheeses fortified with vegetable and animal sources of omega-3. *LWT-Food Sci Technol* 44:1577–84.
- [26] Umesha SS, Manohar RS, Indiramma AR, Akshitha S, Naidu KA. 2015. Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (Alpha-linolenic acid) rich Garden cress (*Lepidium sativum*) seed oil: physical, sensory and storage quality characteristics of biscuits. *LWT-Food Sci Technol* 62:654–61.
- [27] Munin, A., & Edwards-Lévy, F. (2011). Encapsulation of natural polyphenolic compounds; A review. *Pharmaceutics*, 3(4), 793–829.
- [28] Cui, H., Li, W., Li, C., Vittayapadung, S., & Lin, L. (2016). Liposome containing cinnamon oil with antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilm. *Biofouling*, 32(2), 215–225.
- [29] Lin, L., Cui, H., Zhou, H., Zhang, X., Bortolini, C., Chen, M., ... Dong, M. (2015). Nanoliposomes containing *Eucalyptus citriodora* as antibiotic with specific antimicrobial activity. *Chemical Communications*, 51(13), 2653–2655.

- [30] **Mozafari, M. R., Khosravi-Darani, K., Borazan, G. G., Cui, J., Pardakhty, A., & Yurdugul, S. (2008).** Encapsulation of food ingredients using nanoliposome technology. *International Journal of Food Properties*, 11(4), 833–844.
- [31] **Godfray HCJ, Garnett T.** Food security and sustainable intensification. *Phil Trans R Soc B* 2014;369:20120273.
- [32] **McClung CR.** Making hunger yield. *Science* 2014;344:699–700.
- [33] **Kupaei MA, Garmakhany AD. 2014.** Effect of microencapsulated essential oils on the storage life of mango fruit (*Mangifera indica*. L, cv Chaunsa). *Minerva Biotechnol* 26:49–55.
- [34] **Kim IH, Han J, Na JH, Chang PS, Chung MS, Park KH, Min SC. 2013.** Insect-resistant food packaging film development using cinnamon oil and microencapsulation technologies. *J Food Sci* 78:E229–37.
- [35] **H. Michael,** Chemical product engineering-the third paradigm, *Comput.Chem. Eng.* 33 (2009) 947–953.
- [36] **Guterres SS, Alves MP, Pohlmann AR.** Polymeric nanoparticles, nanospheres and nanocapsules for cutaneous applications. *Drug Target Insights.* 2007;2:147–57.
- [37] **Pardeike J, Hommoss A, Müller RH.** Lipid nanoparticles (SLN, NLC) in cosmetic and pharmaceutical dermal products. *Int J Pharm.* 2009;366:170–84. doi:10.1016/j.ijpharm.2008.10.003.
- [38] **Prow TW, Grice JE, Lin LL, Faye R, Butler M, Becker W, et al.** Nanoparticles and microparticles for skin drug delivery. *Adv Drug Deliv Rev.* 2011;63:470–91. doi:10.1016/j.addr.2011.01.012.
- [39] **Contri RV, Correa KLF, Fiel LA, Pohlmann AR, Guterres SS.** Vegetable oils as core of cationic polymeric nanocapsules: influence on the physicochemical properties. *J Exp Nanosci.* 2013;8:8913–24. doi:10.1080/17458080.2011.620019.

- [40] **Contri RV, Katzer T, Ourique A, Da Silva ALM, Beck RCR, Pohlmann AR, et al.** Combined effect of polymeric nanocapsules and chitosan hydrogel on the increase of capsaicinoids adhesion to the skin surface. *J Biomed Nanotechnol.* 2014;10:820–30. doi:10.1166/jbn.2014.1752.
- [41] **S. Benita, M.-C. Martini,** *Cosmetic Applications of Vesicular Delivery Systems* Simon Benita (Ed.), *Microencapsulation: Methods and Industrial Applications*, Marcel Dekker Inc., New York (1996).
- [42] **Ozyildiz F, Karagonlu S, Basal G, Uzel A, Bayraktar O. 2013.** Micro-encapsulation of ozonated red pepper seed oil with antimicrobial activity and application to nonwoven fabric. *Lett Appl Microbiol* 56:168–79.
- [43] **Kim JR, Sharma S. 2011.** Acaricidal activities of clove bud oil and red thyme oil using microencapsulation against HDMs. *J Microencapsul* 28:82–91.
- [44] **Specos MMM, Garcia JJ, Tornesello J, Marino P, Della Vecchia M, Tesoriero MVD, Hermida LG. 2010.** Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles. *Trans Roy Soc Trop Med Hyg* 104:653–8.
- [45] **Li Y, Ai LZ, Yokoyama W, Shoemaker CF, Wei D, Ma JG, Zhong F. 2013.** Properties of chitosan-microencapsulated orange oil prepared by spray-drying and its stability to detergents. *J Agric Food Chem* 61:3311–9.
- [46] **Golja B, Sumiga B, Tavcer PF. 2013.** Fragrant finishing of cotton with microcapsules: comparison between printing and impregnation. *Color Technol* 129:338–46.
- [47] **Khajavi R, Ahrari M, Toliyat T, Bahadori L. 2013.** Molecular encapsulation of lavender essential oil by beta-cyclodextrin and dimethyl dihydroxy ethylene urea for fragrance finishing of cotton fabrics. *Asian J Chem* 25:459–65.
- [48] **Rodrigues SN, Fernandes I, Martins IM, Mata VG, Barreiro F, Rodrigues AI. 2008.** Microencapsulation of limonene for textile application. *Ind Eng Chem Res* 47:4142–7.
- [49] **Hong K, Park S. 1999.** Melamine resin microcapsules containing fragrant oil: synthesis and characterization. *Mater Chem Phys* 58:128–31.

- [50] **Sanchez-Navarro MM, Cuesta-Garrote N, Aran-Ais F, Orgiles-Barcelo C. 2011.** Microencapsulation of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil as biocide for footwear applications. *J Dispersion Sci Technol* 32:1722–7.
- [51] **Wandrey C., Bartkowiak A. & Harding S.E. Materials for Encapsulation In: Zuidam N.J., Nedovic, V.A. (Eds.) Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing, Springer: Dordrecht, The Netherlands; 2009, p. 31-100.**
- [52] **Fang Z. & Bhandari B. :** Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends Food Sci Technol* 2010; 21:510-23.
- [53] **Nikmaram, N., Roohinejad, S., Hashemi, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Abbaspourrad, A., & Greiner, R (2017).** Emulsion-based systems for fabrication of electrospun nanofibers: Food, pharmaceutical and biomedical applications. *RSC Advances*, 7,28951e28964.
- [54] **Sagalowicz, L., & Leser, M. E. (2010).** Delivery systems for liquid food products. *Current Opinion in Colloid & Interface Sciences*, 15, 61–72.
- [55] **Desai K.G.H. & Park H.J.** Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technol* 2005; 23:1361–94.
- [56] **Julia Rodríguez a, b, María J. Martín a, María A. Ruiz a, Beatriz Clares a,b,** Current encapsulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives *Food Research International*. Volume 83, May 2016, Pages 41-59
- [57] **McLennan PL, Abeywardena MY. 2005.** Membrane basis for fish oil effects on the heart: linking natural hibernators to prevention of human sudden cardiac death. *J Membr Biol* 206:85–102.
- [58] **Weitz D, Weintraub H, Fisher E, Schwartzbard AZ. 2010.** Fish oil for the treatment of cardiovascular disease. *Cardiol Rev* 18:258–63.
- [59] **Wendel M, Heller AR. 2009.** Anticancer actions of omega-3 fatty acids -current state and future perspectives. *Anti-Cancer Agents Med Chem* 9:457–70.

- [60] **Ruxton CHS, Reed SC, Simpson MJA, Millington KJ. 2007.** The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. *J Hum Nutr Diet* 20:275–85.
- [61] **Jordan RG. 2010.** Prenatal omega-3 fatty acids: review and recommendations. *J Midwifery Women Health* 55:520–8.
- [62] **Eckert GP, Franke C, Noldner M, Rau O, Wurglics M, Schubert-Zsilavec M, Muller WE. 2010.** Plant derived omega-3-fatty acids protect mitochondrial function in the brain. *Pharmacol Res* 61:234–41.
- [63] **Ferreira EDF, Romanini CV, Oliveira JND, Previdelli ITS, Melo SRD, Oliveira RMWD, Milani H. 2014.** Fish oil provides a sustained anti-amnesic effect after acute, transient forebrain ischemia but not after chronic cerebral hypoperfusion in middle-aged rats. *Behav Brain Res* 265:101–10.
- [64] **Lauterbach R, Pawlik D. 2014.** Chapter 23 - Fish-oil fat emulsion and retinopathy in very low birth weight infants. In: Preedy VR, editor. *Handbook of nutrition, diet and the eye*. San Diego: Academic Press. P 233–40.
- [65] **Augustin MA, Sanguansri L, Bode O. 2006.** Maillard reaction products as encapsulants for fish oil powders. *J Food Sci* 71:25–32.
- [66] **Patrick KE, Abbas S, Lv Y, Ntsama ISB, Zhang X. 2013.** Microencapsulation by complex coacervation of fish oil using gelatin/SDS/NaCMC. *Pak J Food Sci* 23:17–25.
- [67] **Wang B, Adhikari B, Barrow CJ. 2014a.** Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin–sodium hexametaphosphate using complex coacervation. *Food Chem* 158:358–65.
- [68] **Chisti Y. 2008.** Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends Biotechnol* 26:126–31.
- [69] **Rawat I, Ranjith Kumar R, Mutanda T, Bux F. 2013.** Biodiesel from microalgae: a critical evaluation from laboratory to large scale production. *Appl Energy* 103:444–67.

- [70] **Sijtsma L, de Swaaf ME. 2004.** Biotechnological production and applications of the omega-3 polyunsaturated fatty acid docosahexaenoic acid. *Appl Microbiol Biotechnol* 64:146–53.
- [71] **Klok AJ, Lamers PP, Martens DE, Draaisma RB, Wijffels RH. 2014.** Edible oils from microalgae: insights in TAG accumulation. *Trends Biotechnol* 32:521–8.
- [72] **Ryckebosch E, Bruneel C, Termote-Verhalle R, Goiris K, Muylaert K, Foubert I. 2014.** Nutritional evaluation of microalgae oils rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids as an alternative for fish oil. *Food Chem* 160:393–400.
- [73] **Szabo NJ, Matulka RA, Marone PA, Bauter MR, Chan T, Franklin S, Carney JR, McQuaid SL, Rakitsky W, Green R, Licari P. 2014.** Safety evaluation of oleic-rich triglyceride oil produced by a heterotrophic microalgal fermentation process. *Food Chem Toxicol* 65:301–11.
- [74] **Bao SS, Hu XC, Zhang K, Xu XK, Zhang HM, Huang H. 2011.** Characterization of spray-dried microalgal oil encapsulated in cross-linked sodium caseinate matrix induced by microbial transglutaminase. *J Food Sci* 76: E112–8.
- [75] **Rubilar M, Morales E, Contreras K, Ceballos C, Acevedo F, Villarroel M, Shene C. 2012a.** Development of a soup powder enriched with microencapsulated linseed oil as a source of omega-3 fatty acids. *Eur J Lipid Sci Technol* 114:423–33.
- [76] **Bozan B, Temelli F. 2008.** Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresour Technol* 99:6354–9.
- [77] **Karaca AC, Nickerson M, Low NH. 2013a.** Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chem* 139:448–57.
- [78] **Karaca AC, Low N, Nickerson M. 2013b.** Encapsulation of flaxseed oil using a benchtop spray dryer for legume protein-maltodextrin microcapsule preparation. *J Agric Food Chem* 61:5148–55.

- [79] **Kummerow FA, Mahfouz MM, Zhou Q. 2007.** Trans fatty acids in partially hydrogenated soybean oil inhibit prostacyclin release by endothelial cells in presence of high level of linoleic acid. *Prostaglandins Other Lipid Mediat* 84:138–53.
- [80] **Gresshoff P. 2013.** Soybean (*Glycine max* L). In: Hughes SM, editor. *Brenner's encyclopedia of genetics*. 2nd ed. San Diego: Academic Press. P 494–7.
- [81] **Faldt P, Bergenstahl B. 1996a.** Spray-dried whey protein/lactose/soybean oil emulsions .1. Surface composition and particle structure. *Food Hydrocolloids* 10:421–9.
- [82] **Faldt P, Bergenstahl B. 1996b.** Spray-dried whey protein/lactose/soybean oil emulsions. 2. Redispersability, wettability and particle structure. *Food hydrocolloids* 10:431 9.
- [83] **Montserrat-de la Paz S, Garcia-Gimenez MD, Angel-Martin M, Perez-Camino MC, Fernandez Arche A. 2014.** Long-chain fatty alcohols from evening primrose oil inhibit the inflammatory response in murine peritoneal macrophages. *J Ethnopharmacol* 151:131–6.
- [84] **Liu TT, Yang TS. 2011.** Optimization of emulsification and microencapsulation of evening primrose oil and its oxidative stability during storage by response surface methodology. *J Food Qual* 34:64–73.
- [85] **Montserrat-de la Paz S, Fernandez-Arche MA, Bermudez B, Garcia-Gimenez MD. 2015.** The sterols isolated from evening primrose oil inhibit human colon adenocarcinoma cell proliferation and induce cell cycle arrest through upregulation of LXR. *J Funct Food* 12:64–9.
- [86] **Eiben C, Vegi B, Virag G, Godor-Surmann K, Maro A, Odermatt M, Zsedely E, Toth T, Schmidt J. 2010.** Effect of different dietary ratios of sunflower and linseed oils on growth and carcass traits of rabbits. *Livestock Science* 131:15–22.
- [87] **Pal D. 2011.** Chapter 130 - Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds in health and nutrition. In: Preedy VR, Watson RR, Patel VB, editors. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. San Diego: Academic Press. p 1097–105.

- [88] **Roccia P, Martinez ML, Llabot JM, Ribotta PD. 2014.** Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. *Powder Technol* 254:307–13.
- [89] **Williams D, Verghese M, Walker LT, Boateng J, Shackelford L, Chawan CB. 2007.** Flax seed oil and flax seed meal reduce the formation of aberrant crypt foci (ACF) in azoxymethane-induced colon cancer in Fisher 344 male rats. *Food Chem Toxicol* 45:153–9.
- [90] **Nyam KL, Tan CP, Lai OM, Long K, Man YBC. 2009.** Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT-Food Sci Technol* 42:1396–403.
- [91] **Ng SK, Jessie LYL, Tan CP, Long K, Nyam KL. 2013a.** Effect of accelerated storage on microencapsulated kenaf seed oil. *J Am Oil Chem Soc* 90:1023–9.
- [92] **Ng SK, Wong PY, Tan CP, Long K, Nyam KL. 2013b.** Influence of the inlet air temperature on the microencapsulation of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil. *Eur J Lipid Sci Technol* 115:1309–18.
- [93] **Razmkhah S, Tan C-P, Long K, Nyam K-L. 2013.** Quality changes and antioxidant properties of microencapsulated kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil during accelerated storage. *J Amer Oil Chem Soc* 90: 1859–67.
- [94] **Wang J, Wang Y, Zheng L, Ni S, Fan Z, Yao R, Chen K. 2014b.** Kinetic study on extraction of red pepper seed oil with supercritical CO<sub>2</sub>. *Chinese J Chem Eng* 22:44–50.
- [95] **Abdel-Mageed WM, Bayoumi SAH, Radwan AA, Salem-Bekhit MM, Abd-Alrahman SH, Basudan OA, Sayed HM. 2014.** *Simmondsia chinensis*: a rich source of bioactive flavonoids and lignans. *Industrial Crops Products* 60:99–103.
- [96] **Li L, Tsao R, Yang R, Kramer JKG, Hernandez M. 2007.** Fatty acid profiles, tocopherol contents, and antioxidant activities of heartnut (*Juglans ailanthifolia* var. *Cordiformis*) and persian walnut (*Juglans regia* L.). *J Agric Food Chem* 55:1164–9.
- [97] **Pereira JA, Oliveira I, Sousa A, Ferreira I, Bento A, Estevinho L. 2008.** Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food Chem Toxicol* 46:2103–11.

- [98] **Yang J, Liu RH, Halim L. 2009a.** Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds. *LWT-Food Sci Technol* 42:1–8.
- [99] **Calvo P, Castano AL, Hernandez MT, Gonzalez-Gomez D. 2011.** Effects of microcapsule constitution on the quality of microencapsulated walnut oil. *Eur J Lipid Sci Technol* 113:1273–80.
- [100] **Koutsopoulos DA, Koutsimanis GE, Bloukas JG. 2008.** Effect of carrageenan level and packaging during ripening on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages produced with olive oil. *Meat Sci* 79:188–97.
- [101] **Lockyer S, Rowland I. 2014.** 10 - Authorised EU health claims for polyphenols in olive oil. In: Sadler MJ, editor. *Foods, nutrients and food ingredients with authorised EU health claims*. Woodhead Publishing, Cambridge. p 212–28.
- [102] **Whayne TF. 2010.** What should medical practitioners know about the role of alternative medicines in cardiovascular disease management? *Cardiovasc Ther* 28:106–23.
- [103] **Perona J, Botham K. 2013.** Olive oil as a functional food: nutritional and health benefits. In: Aparicio R, Harwood J, editors. *Handbook of olive oil*. Springer US, New York. p 677–714.
- [104] **Calvo P, Hernandez T, Lozano M, Gonzalez-Gomez D. 2010.** Microencapsulation of extra-virgin olive oil by spray-drying: influence of wall material and olive quality. *Eur J Lipid Sci Technol* 112:852–8.
- [105] **Calvo P, Castano AL, Lozano M, Gonzalez-Gomez D. 2012.** Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Res Int* 45:256–61.

- [106] **Mukherjee S, Mitra A. 2009.** Health effects of palm oil. *J Human Ecol* 26:197–203.
- [107] **Benadé AJS. 2013.** Chapter 21 - red palm oil carotenoids: potential role in disease prevention. In: Watson RR, Preedy VR, editors. *Bioactive food as dietary interventions for cardiovascular disease*. San Diego: Academic Press. p 333–43.
- [108] **Choo YM, Ng MH, Ma AN, Chuah CH, Hashim MA. 2005.** Application of supercritical fluid chromatography in the quantitative analysis of minor components (carotenes, vitamin E, sterols, and squalene) from palm oil. *Lipids* 40:429–32.
- [109] **Sambanthamurthi R, Tan YA, Sundram K, Abeywardena M, Sambandan TG, Rha C, Sinskey AJ, Subramaniam K, Leow SS, Hayes KC, Wahid MB. 2011.** Oil palm vegetation liquor: a new source of phenolic bioactives. *Br J Nutr* 106:1655–63.
- [110] **Sambanthamurthi R, Sundram K, Tan YA. 2000.** Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress Lipid Res* 39:507–58.
- [111] **Che Idris CA, Karupaiah T, Sundram K, Tan YA, Balasundram N, Leow S-S, Nasruddin NS, Sambanthamurthi R. 2014.** Oil palm phenolics and vitamin E reduce atherosclerosis in rabbits. *J Funct Food* 7:541–50.
- [112] **Dian N, Sudin NA, Yusoff MSA. 1996.** Characteristics of microencapsulated palm-based oil as affected by type of wall material. *J Sci Food Agric* 70:422–6.
- [113] **Ito H, Asmussen S, Traber DL, Cox RA, Hawkins HK, Connelly R, Traber LD, Walker TW, Malgerud E, Sakurai H, Enkhbaatar P. 2014.** Healing efficacy of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed oil in an ovine burn wound model. *Burns* 40:511-9.
- [114] **Yang BR, Kallio HP. 2001.** Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries of different origins. *J Agric Food Chem* 49:1939–47.
- [115] **Basu M, Prasad R, Jayamurthy P, Pal K, Arumughan C, Sawhney RC. 2007.** Anti-atherogenic effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) seed oil. *Phytomedicine* 14:770–7.

- [116] **Eccleston C, Baoru Y, Tahvonen R, Kallio H, Rimbach GH, Minihane AM. 2002.** Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans. *J Nutr Biochem* 13:346–54.
- [117] **Xing JF, Yang BR, Dong YL, Wang BW, Wang JX, Kallio HP. 2002.** Effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed and pulp oils on experimental models of gastric ulcer in rats. *Fitoterapia* 73:644–50.
- [118] **Partanen R, Yoshii H, Kallio H, Yang BR, Forssell P. 2002.** Encapsulation of sea buckthorn kernel oil in modified starches. *J Am Oil Chem Soc* 79:219–23.
- [119] **Partanen R, Hakala M, Sjoval O, Kallio H, Forssell P. 2005.** Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil. *J Food Sci* 70:E37–43.
- [120] **Requejo C, Wong M, McGhie T, Eyres L, Boyd L, Woolf A. 2003.** Cold pressed avocado oil-a healthy development. *Orchardist* October 76: 56–8.
- [121] **Ozdemir F, Topuz A. 2004.** Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chem* 86:79–83.
- [122] **Bae EK, Lee SJ. 2008.** Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *J Microencapsul* 25:549–60.
- [123] **Chan LW, Lim LT, Heng PWS. 2000.** Microencapsulation of oils using sodium alginate. *J Microencapsul* 17:757–66.
- [124] **Megahad OA, El Kinawy OS. 2002.** Studies on the extraction of wheat germ oil by commercial hexane. *Grasas Aceites* 53:414–8.
- [125] **Beirao da Costa S, Duarte C, Bourbon AI, Pinheiro AC, Januário MIN, Vicente AA, Beirao-da-Costa ML, Delgadillo I. 2013.** Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of Oregano essential oil. *Food, Hydrocolloids* 33:199–206.
- [126] **Olmedo R, Nepote V, Grosso NR. 2014.** Antioxidant activity of fractions from oregano essential oils obtained by molecular distillation. *Food Chem* 156:212–9.

- [127] **Muriel-Galet V, Cran MJ, Bigger SW, Hernandez-Munoz P, Gavara R. 2015.** Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components. *J Food Eng* 149:9–16.
- [128] **Almeida AP, Rodriguez-Rojo S, Serra AT, Vila-Real H, Simplicio AL, Delgadillo I, Beirao da Costa S, Beirao da Costa L, Nogueira ID, Duarte CMM. 2013.** Microencapsulation of oregano essential oil in starch-based materials using supercritical fluid technology. *Innov Food Sci Emerg Technol* 20:140–5.
- [129] **Bhargava K, Conti DS, da Rocha SRP, Zhang YF. 2015.** Application of an oregano oil nanoemulsion to the control of foodborne bacteria on fresh lettuce. *Food Microbiol* 47:69-73.
- [130] **Baranauskiene R, Venskutonis PR, Dewettinck K, Verhe R. 2006.** Properties of oregano (*Origanum vulgare* L.), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. *Food Res Int* 39:413–25.
- [131] **Beirao da Costa S, Duarte C, Bourbon AI, Pinheiro AC, Serra AT, Moldao Martins M, Nunes Januario MI, Vicente AA, Delgadillo I, Duarte C, Beirao da Costa ML. 2012.** Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated oregano essential oil. *J Food Eng* 110:190–9.
- [132] **Zhong F, Yu M, Luo C, Shoemaker CF, Li Y, Xia S, Ma J. 2009.** Formation and characterisation of mint oil/S and CS/water microemulsions. *Food Chem* 115:539–44.
- [133] **Lawrence BM. 1997.** Progress in essential oils. *Perfumer Flavorist* 22:57–74.  
Lawrence R, Lawrence K. 2011. Antioxidant activity of garlic essential oil (*Allium Sativum*) grown in north Indian plains. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 1:S51-4.
- [134] **Iscan G, Kirimer N, Kurkcuoglu M, Baser KHC, Demirci F. 2002.** Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *J Agric Food Chem* 50:3943–6.

- [135] **Kumar A, Samarth RM, Yasmeen S, Sharma A, Sugahara T, Terado T, Kimura H. 2004.** Anticancer and radioprotective potentials of *Mentha piperita*. *Biofactors* 22:87–91.
- [136] **Inan O, Ozcan MM, Al Juhaimi FY. 2012.** Antioxidant effect of mint, laurel and myrtle leaves essential oils on pomegranate kernel, poppy, grape and linseed oils. *J Cleaner Product* 27:151–4.
- [137] **Hwang JS, Kim JN, Wee YJ, Yun JS, Jang HG, Kim SH, Ryu HW. 2006.** Preparation and characterization of melamine-formaldehyde resin microcapsules containing fragrant oil. *Biotechnol Bioproc E* 11:332–6.
- [138] **Sarkar S, Gupta S, Variyar PS, Sharma A, Singhal RS. 2012.** Irradiation depolymerized guar gum as partial replacement of gum arabic for microencapsulation of mint oil. *Carbohydrate Polymers* 90:1685–94.
- [139] **Sarkar S, Gupta S, Variyar PS, Sharma A, Singhal RS. 2013.** Hydrophobic derivatives of guar gum hydrolyzate and gum arabic as matrices for microencapsulation of mint oil. *Carbohydrate Polymers* 95:177–82.
- [140] **Dong ZJ, Ma Y, Hayat K, Jia CS, Xia SQ, Zhang XM. 2011.** Morphology and release profile of microcapsules encapsulating peppermint oil by complex coacervation. *J Food Eng* 104:455–60.
- [141] **Baliga MS, Shivashankara AR, Azmidah A, Sunitha V, Palatty PL. 2013.** Gastrointestinal and hepatoprotective effects of *Ocimum sanctum* L. Syn (holy basil or tulsi): validation of the ethnomedicinal observation. In: Watson RR, Preedy VR, editors. *Bioactive food as dietary interventions for liver and gastrointestinal disease*. United States: Academic Press. p 325–35.
- [142] **Chanwitheesuk A, Teerawutgulrag A, Rakariyatham N. 2005.** Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. *Food Chem* 92:491–7.
- [143] **Burt S. 2004.** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *Int J Food Microbiol* 94:223–53.

- [144] **Kumar A, Shukla R, Singh P, Dubey NK. 2010.** Chemical composition, antifungal and antiaflatoxic activities of *Ocimum sanctum* L. essential oil and its safety assessment as plant based antimicrobial. *Food Chem Toxicol* 48:539–43.
- [145] **Bihari CG, Shankar NB, Kumar JP, Keshari PS, Ellaiah P. 2010.** Phytochemical investigation and screening for anthelmintic activity of leafy extracts of various *Ocimum* (Tulsi) species. *J Pharmacy Res* 3:2140–1.
- [146] **Singh S, Taneja M, Majumdar DK. 2007a.** Biological activities of *Ocimum sanctum* L. fixed oil - an overview. *Indian J Exp Biol* 45:403–12.
- [147] **Nadig P, Laxmi S. 2005.** Study of anti-tussive activity of *Ocimum sanctum* Linn in guinea pigs. *Indian J Physiol Pharmacol* 49:243–5.
- [148] **Shimizu T, Torres MP, Chakraborty S, Soucek JJ, Rachagani S, Kaur S, Macha M, Ganti AK, Hauke RJ, Batra SK. 2013.** Holy Basil leaf extract decreases tumorigenicity and metastasis of aggressive human pancreatic cancer cells in vitro and in vivo: potential role in therapy. *Cancer Lett* 336:270–80.
- [149] **Khanna N, Arora D, Halder S, Mehta AK, Garg GR, Sharma SB, Mahajan P. 2010.** Comparative effect of *Ocimum sanctum*, *Commiphora mukul*, folic acid and ramipril on lipid peroxidation in experimentally-induced hyperlipidemia. *Indian J Exp Biol* 48:299–305.
- [150] **Sutaphanit P, Chitprasert P. 2014.** Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology. *Food Chem* 150:313–20.
- [151] **Rozman T, Jersek B. 2009.** Antimicrobial activity of rosemary extracts (*Rosmarinus officinalis* L.) against different species of *Listeria*. *Acta Agric Slovenica* 93:51–8.
- [152] **Jiang Y, Wu N, Fu YJ, Wang W, Luo M, Zhao CJ, Zu YG, Liu XL. 2011.** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Rosemary. *Environ Toxicol Pharmacol* 32:63–8.

- [153] **Soylu EM, Kurt S, Soylu S. 2010.** In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *Int J Food Microbiol* 143:183–9.
- [154] **Zoubiri S, Baaliouamer A. 2011.** Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. *Food Chem* 129:179–82.
- [155] **Degner SC, Papoutsis AJ, Romagnolo DF. 2009.** Health benefits of traditional culinary and medicinal Mediterranean plants. In: Watson RR, editor. *Complementary and alternative therapies and the aging population*. New York: E-Publishing Inc. p 541–62.
- [156] **Barni MV, Carlini MJ, Cafferata EG, Puricelli L, Moreno S. 2012.** Carnosic acid inhibits the proliferation and migration capacity of human colorectal cancer cells. *Oncol Rep* 27:1041–8.
- [157] **Moss M, Cook J, Wesnes K, Duckett P. 2003.** Aromas of rosemary and lavender essential oils differentially affect cognition and mood in healthy adults. *Int J Neurosci* 113:15–38.
- [158] **de Barros Fernandes RV, Marques GR, Borges SV, Botrel DA. 2014.** Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil. *Ind Crop Prod* 58:173–81.
- [159] **Fernandes RVD, Borges SV, Botrel DA, Silva EK, da Costa JMG, Queiroz F. 2013.** Microencapsulation of rosemary essential oil: characterization of particles. *Dry Technol* 31:1245–54.
- [160] **Costa SMO, Lemos TLG, Pessoa ODL, Pessoa C, Montenegro RC, Braz-Filho R. 2001.** Chemical constituents from *Lippia sidoides* and cytotoxic activity. *J Nat Prod* 64:792–5.
- [161] **Pascual ME, Slowing K, Carretero E, S´anchez ADM, Villar A. 2001.** *Lippia*: tradicional uses, chemistry and pharmacology: a review. *J Ethnopharmacol* 76:201–14.

- [162] Botelho MA, Nogueira NAP, Bastos GM, Fonseca SGC, Lemos TLG, Matos FJA, Montenegro D, Heukelbach J, Rao VS, Brito GAC. 2007. Antimicrobial activity of the essential oil from *Lippia sidoides*, carvacrol and thymol against oral pathogens. *Brazilian J Med Biol Res* 40:349–56.
- [163] de Lima GPG, de Souza TM, Freire GD, Farias DF, Cunha AP, Ricardo N, de Moraes SM, Carvalho AFU. 2013. Further insecticidal activities of essential oils from *Lippia sidoides* and *Croton* species against *Aedes aegypti* L. *Parasitol Res* 112:1953–8.
- [164] Camurca-Vasconcelos ALF, Bevilaqua CML, Moraes SM, Maciel MV, Costa CTC, Macedo ITF, Oliveira LMB, Braga RR, Silva RA, Vieira LS. 2007. Anthelmintic activity of *Croton zehntneri* and *Lippia sidoides* essential oils. *Vet Parasitol* 148:288–94.
- [165] Cavalcanti SCH, Niculau ED, Blank AF, Camara CAG, Araujo IN, Alves PB. 2010. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Bioresour Technol* 101:829–32.
- [166] Fernandes LP, Turatti ICC, Lopes NP, Ferreira JC, Candido RC, Oliveira WP. 2008. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of *Lippia sidoides* essential oil. *Drying Technol* 26:1534–42.
- [167] Kpoviessi S, Bero J, Agbani P, Gbaguidi F, Kpadonou-Kpoviessi B, Sinsin B, Accrombessi G, Fréderich M, Moudachirou M, Quetin-Leclercq J. 2014. Chemical composition, cytotoxicity and in vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activity of the essential oils of four *Cymbopogon* species from Benin. *J Ethnopharmacol* 151:652–9.
- [168] Naik MI, Fomda BA, Jaykumar E, Bhat JA. 2010. Antibacterial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against some selected pathogenic bacterias. *Asian Pac J Trop Med* 3:535–8.
- [169] Costa CARDA, Kohn DO, de Lima VM, Gargano AC, Flório JC, Costa M. 2011. The GABAergic system contributes to the anxiolytic-like effect of essential oil from *Cymbopogon citratus* (lemongrass). *J Ethnopharmacol* 137:828–36.

- [170] **Mishra AK, Dubey NK. 1994.** Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Appl Environ Microbiol* 60:1101–5.
- [171] **Leimann FV, Goncalves OH, Machado RAF, Bolzan A. 2009.** Antimicrobial activity of microencapsulated lemongrass essential oil and the effect of experimental parameters on microcapsules size and morphology. *Mater Sci Eng C-Biomimetic Supramol Syst* 29:430–6.
- [172] **Southwell IA, Russell M, Smith RL, Archer DW. 2000.** *Backhousia citriodora* F. Muell. (Myrtaceae), a superior source of citral. *J Essent Oil Res* 12:735–41.
- [173] **Forbes-Smith M, Paton JE. 2002.** Innovative products from Australian native foods. RIRDC Publication No. 02/109. Union Offset Printing, Canberra, Australia.
- [174] **Burke BE, Baillie J-E, Olson RD. 2004.** Essential oil of Australian lemon myrtle (*Backhousia citriodora*) in the treatment of molluscum contagiosum in children. *Biomed Pharmacother* 58:245–7.
- [175] **Konczak I, Zabaras D, Dunstan M, Aguas P. 2010.** Antioxidant capacity and phenolic compounds in commercially grown native Australian herbs and spices. *Food Chem* 122:260–6.
- [176] **Huynh V, Caffin N, Dykes GA, Bhandari B. 2008.** Optimization of the microencapsulation of lemon myrtle oil using response surface methodology. *Dry Technol* 26:357–68.
- [177] **Singh G, Maurya S, deLampasona MP, Catalan CAN. 2007b.** A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. *Food Chem Toxicol* 45:1650–61.
- [178] **Ayala-Zavala JF, Soto-Valdez H, Gonzalaz-Leon A, Alvarez-Parrilla E, Martin-Belloso O, Gonzalez-Aguilar GA. 2008.** Microencapsulation of cinnamon leaf (*Cinnamomum zeylanicum*) and garlic (*Allium sativum*) oils in beta-cyclodextrin. *J Incl Phenom Macrocycl Chem* 60:359–68.

- [179] **Combrinck S, Regnier T, Kamatou GPP. 2011.** In vitro activity of eighteen essential oils and some major components against common postharvest fungal pathogens of fruit. *Ind Crop Prod* 33:344–9.
- [180] **Matan N, Rimkeeree H, Mawson AJ, Chompreeda P, Haruthaithanasan V, Parker M. 2006.** Antimicrobial activity of cinnamon and clove oils under modified atmosphere conditions. *Int J Food Microbiol* 107:180–5.
- [181] **Ping H, Zhang GJ, Ren GX. 2010.** Antidiabetic effects of cinnamon oil in diabetic KK-A(y) mice. *Food Chem Toxicol* 48:2344–9.
- [182] **Gunawardena D, Govindaraghavan S, Munch G. 2014.** Chapter 30 -Anti-inflammatory properties of cinnamon polyphenols and their monomeric precursors. In: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, editors. *Polyphenols in human health and disease*. San Diego: Academic Press. p 409–25.
- [183] **Tzortzakis NG. 2009.** Impact of cinnamon oil-enrichment on microbial spoilage of fresh produce. *Innov Food Sci Emerg Technol* 10:97–102.
- [184] **Thomsen NA, Hammer KA, Riley TV, Van Belkum A, Carson CF. 2013.** Effect of habituation to tea tree (*Melaleuca alternifolia*) oil on the subsequent susceptibility of *Staphylococcus* spp. to antimicrobials, triclosan, tea tree oil, terpinen-4-ol and carvacrol. *Intl J Antimicrob Agents* 41:343–51.
- [185] **Sipailiene A, Venskutonis PR, Baranauskiene R, Sarkinas A. 2006.** Antimicrobial activity of commercial samples of thyme and marjoram oils. *J Essent Oil Res* 18:698–703.
- [186] **Navarrete P, Toledo I, Mardones P, Opazo R, Espejo R, Romero J. 2010.** Effect of *Thymus vulgaris* essential oil on intestinal bacterial microbiota of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) and bacterial isolates. *Aquac Res* 41:e 667–78.
- [187] **Jouki M, Mortazavi SA, Yazdi FT, Koocheki A. 2014b.** Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydrate Polymers* 99:537–46.

- [188] **Chung SK, Seo JY, Lim JH, Park HH, Yea MJ, Park HJ. 2013.** Microencapsulation of essential oil for insect repellent in food packaging system. *J Food Sci* 78: E709–14.
- [189] **Deng CH, Yao N, Wang AQ, Zhang XM. 2005.** Determination of essential oil in a traditional Chinese medicine, *Fructus amomi* by pressurized hot water extraction followed by liquid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Anal Chim Acta* 536:237–44.
- [190] **Pragadheesh VS, Saroj A, Yadav A, Chanotiya CS, Alam M, Samad A. 2013.** Chemical characterization and antifungal activity of *Cinnamomum camphora* essential oil. *Industrial Crops Products* 49:628–33.
- [191] **Khater HF, El-Shorbagy MM, Seddiek SA. 2014.** Lousicidal efficacy of camphor oil, d-phenothrin, and deltamethrin against the slender pigeon louse, *Columbicola columbae*. *Intl J Veterinary Sci Med* 2:7–13.
- [192] **Chang CP, Leung TK, Lin SM, Hsu CC. 2006.** Release properties on gelatin-gum arabic microcapsules containing camphor oil with added polystyrene. *Colloid Surf B-Biointerfaces* 50:136–40.
- [193] **Gomes V, Agostini G, Agostini F, Atti dos Santos AC, Rossato M. 2013.** Variation in the essential oils composition in Brazilian populations of *Schinus molle* L. (Anacardiaceae). *Biochem Syst Ecol* 48:222–7.
- [194] **Murray AP, Frontera MA, Tomas MA, Mulet MC. 2005.** Gas chromatography-mass spectrometry study of the essential oils of *Schinus longifolia* (Lindl.) Speg., *Schinus fasciculate* (Griseb.) I.M Johnst., and *Schinus areira* L. *ZNaturforsch(C)* 60:25–9.
- [195] **Abdel-Sattar E, Zaitoun AA, Farag MA, El Gayed SH, Harraz FMH. 2010.** Chemical composition, insecticidal and insect repellent activity of *Schinus molle* L. leaf and fruit essential oils against *Trogoderma granarium* and *Tribolium castaneum*. *Nat Prod Res* 24:226–35.
- [196] **Deveci O, Sukan A, Tuzun N, Kocabas EEH. 2010.** Chemical composition, repellent and antimicrobial activity of *Schinus molle* L. *J Med Plants Res* 4:2211–6.

- [197] **Lopez A, Castro S, Andina MJ, Ures X, Munguia B, Llabot JM, Elder H, Dellacassa E, Palma S, Dominguez L. 2014.** Insecticidal activity of microencapsulated *Schinus molle* essential oil. *Ind Crop Prod* 53:209–16.
- [198] **Martins MDR, Arantes S, Candeias F, Tinoco MT, Cruz-Morais J. 2014b.** Antioxidant, antimicrobial and toxicological properties of *Schinus molle* L. essential oils. *J Ethnopharmacol* 151:485–92.
- [199] **Priya SR, Navinchandra S, Jayaveera KN. 2012.** An important spice, *Pimenta dioica* (Linn.) Merrill: a review. *Intl Curr Pharmaceut J* 1:221–5.
- [200] **Dima C, Cotarlet M, Alexe P, Dima S. 2014.** Microencapsulation of essential oil of pimento [*Pimenta dioica* (L) Merr.] by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method. *Innov Food Sci Emerg Technol* 22:203–11.
- [201] **Zabka M, Pavela R, Slezakova L. 2009.** Antifungal effect of *Pimenta dioica* essential oil against dangerous pathogenic and toxinogenic fungi. *Ind Crop Prod* 30:250–3.
- [202] **Sengottuvelu S. 2011.** Chapter 34 - Cardamom (*Elettaria cardamomum* Linn. Maton) seeds in health. In: Preedy VR, Watson RR, Patel VB, editors. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. San Diego: Academic Press. p 285–91.
- [203] **Kumari S, Dutta A. 2014.** Histological and ultrastructural studies on the toxic effect of pan masala and its amelioration by *Elettaria cardamomum*. *Chin J Nat Med* 12:199–203.
- [204] **Beristain CI, Garcia HS, Vernon-Carter EJ. 2001.** Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *Lebensm-Wiss Technol-Food Sci Technol* 34:398–401.
- [205] **Krishnan S, Bhosale R, Singhal RS. 2005.** Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers* 61:95–102.
- [206] **Umesha SS, Monahar B, Naidu KA. 2013.** Microencapsulation of alpha-linolenic acid-rich garden cress seed oil: physical characteristics and oxidative stability. *Eur J Lipid Sci Technol* 115:1474–82.

- [207] Moser BR, Shah SN, Winkler-Moser JK, Vaughn SF, Evangelista RL. 2009. Composition and physical properties of cress (*Lepidium sativum* L.) and field pennycress (*Thlaspi arvense* L.) oils. *Ind Crop Prod* 30:199–205.
- [208] Silva VM, Vieira GS, Hubinger MD. 2014. Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Res Int* 61:132–43.
- [209] Wagemaker TAL, Carvalho CRL, Maia NB, Baggio SR, Guerreiro O. 2011. Sun protection factor, content and composition of lipid fraction of green coffee beans. *Ind Crop Prod* 33:469–73.
- [210] Carvalho AGS, Silva VM, Hubinger MD. 2013. Microencapsulation by spray drying of emulsified green coffee oil with two-layered membranes. *Food Res Int* 61:236–45.
- [211] Hor SY, Ahmad M, Farsi E, Yam MF, Hashim MA, Lim CP, Sadikun A, Asmawi MZ. 2012. Safety assessment of methanol extract of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*): acute and subchronic toxicity studies. *Regulatory Toxicol Pharmacol* 63:106–14.
- [212] Tenore GC, Novellino E, Basile A. 2012. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. *J Funct Food* 4:129–36.
- [213] Wybraniec S, Mizrahi Y. 2002. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus cacti*. *J Agric Food Chem* 50:6086–9.
- [214] Du WX, Olsen CW, Avena-Bustillos RJ, Friedman M, McHugh TH. 2011. Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. *J Food Sci* 76:M149–55.
- [215] Lim HK, Tan CP, Bakar J, Ng SP. 2012. Effects of different wall materials on the physicochemical properties and oxidative stability of spray-dried microencapsulated red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed oil. *Food Bioprocess Technol* 5:1220–7.

- [216] Laribi B, Bettaieb I, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops Products* 30:372–9.
- [217] Lahlou S, Tahraoui A, Israili Z, Lyoussi B. 2007. Diuretic activity of the aqueous extracts of *Carum carvi* and *Tanacetum vulgare* in normal rats. *J Ethnopharmacol* 110:458–63.
- [218] Tahraoui A, El-Hilaly J, Israili ZH, Lyoussi B. 2007. Ethnopharmacological survey of plants used in the traditional treatment of hypertension and diabetes in south-eastern Morocco (Errachidia province). *J Ethnopharmacol* 110:105–17.
- [219] Lemhadri A, Hajji L, Michel JB, Eddouks M. 2006. Cholesterol and triglycerides lowering activities of caraway fruits in normal and streptozotocin diabetic rats. *J Ethnopharmacol* 106:321–6.
- [220] Langhorst J, Lauche R, Janzen A, Ludtke R, Cramer H, Dobos GJ. 2014. Sa1071 efficacy of caraway oil poultices in treating of irritable bowel syndrome -a randomized controlled cross-over trial. *J Altern Complem Med* 20:A81–2.
- [221] Bylaite E, Venskutonis PR, Mapdpieriene R. 2001. Properties of caraway (*Carum carvi* L.) essential oil encapsulated into milk protein-based matrices. *Eur Food Res Technol* 212:661–70.
- [222] Yang WZ, Laurain J, Ametaj BN. 2009b. Neem oil modulates rumen fermentation properties in a continuous cultures system. *Animal Feed Sci Technol* 149:78–88.
- [223] Mandal S, Mandal MD. 2011. Chapter 95 - Antibacterial potential of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) seeds. In: Preedy VR, Watson RR, Patel VB, editors. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. San Diego: Academic Press. p 803–11.
- [224] Devi N, Maji TK. 2009. A novel microencapsulation of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) seed oil (NSO) in polyelectrolyte complex of kappa-carrageenan and chitosan. *J Appl Polym Sci* 113:1576–83.

- [225] **Sahana K, Nagarajan S, Mohan Rao LJ. 2011.** Chapter 50 – Cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed volatile oil: chemistry and role in health and disease prevention. In: Preedy VR, Watson RR, Patel VB, editors. Nuts and seeds in health and disease prevention. San Diego: Academic Press. p 417–27.
- [226] **Kanakdande D, Bhosale R, Singhal RS. 2007.** Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers* 67:536–41.
- [227] **Chen Q, Gan Z, Zhao J, Wang Y, Zhang S, Li J, Ni Y. 2014.** In vitro comparison of antioxidant capacity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) oils and their main components. *LWT-Food Sci Technol* 55:632–7.
- [228] **Ravindran PN, Kallapurackal JA. 2012.** 6 - Black pepper. In: Peter KV, editor. Handbook of herbs and spices. 2nd ed. Cambridge, England, Woodhead Publishing. p 86–115.
- [229] **Jeena K, Liju VB, Umadevi NP, Kuttan R. 2014.** Antioxidant, anti-inflammatory and antinociceptive properties of black pepper essential oil (*Piper nigrum* Linn). *J Essent Oil Bear Plants* 17:1–12.
- [230] **Shaikh J, Bhosale R, Singhal R. 2006.** Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chem* 94:105–10.
- [231] **Li BB, Smith B, Hossain MM. 2006.** Extraction of phenolics from citrus peels I. Solvent extraction method. *Sep Purif Technol* 48:182–8.
- [232] **Lota ML, Serra DD, Tomi F, Casanova J. 2001.** Chemical variability of peel and leaf essential oils of 15 species of mandarins. *Biochem Syst Ecol* 29:77–104.
- [233] **Choi HS, Song HS, Ukeda H, Sawamura M. 2000.** Radical-scavenging activities of citrus essential oils and their components: detection using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. *J Agric Food Chem* 48:4156–61.

- [234] **Adamiec J, Borompichaichartkul C, Srzednicki G, Panket W, Piriypunsakul S, Zhao J. 2012.** Microencapsulation of kaffir lime oil and Its functional properties. *Dry Technol* 30:914-20.
- [235] **Viuda-Martos M, Ruiz-Navajas Y, Fernandez-Lopez J, Perez-Alvarez J. 2008.** Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. *Food Control* 19:1130–8.
- [236] **Beristain CI, Azuara E, Vernon-Carter EJ. 2002.** Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material. *J Food Sci* 67:206–11.
- [237] **Evangelista GL, Coelho-de-Souza AN, Santos CF, Leal-Cardoso JH, Lopes EAB, dos Santos MV, Lahlou S, Magalhaes PJC. 2007.** Essential oil of *Pterodon polygalaeflorus* inhibits electromechanical coupling on rat isolated trachea. *J Ethnopharmacol* 109:515–22.
- [238] **Menna-Barreto RFS, Laranja GAT, Silva MCC, Coelho MGP, Paes MC, Oliveira MM, de Castro SL. 2008.** Anti-*Trypanosoma cruzi* activity of *Pterodon pubescens* seed oil: geranylgeraniol as the major bioactive component. *Parasitol Res* 103:111–7.
- [239] **Barbosa Raposo NR, Dutra RC, Ferreira AS. 2011.** Chapter 129 – biological properties of sucupira branca (*Pterodon emarginatus*) seeds and their potential usage in health treatments. In: Preedy VR, Watson RR, Patel VB, editors. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. San Diego: Academic Press. p 1087–95.
- [240] **Alves SF, Borges LL, dos Santos TO, de Paula JR, Conceicao EC, Bara MTF. 2014.** Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon emarginatus* using gum arabic and maltodextrin as wall materials: composition and stability. *Dry Technol* 32:96–105.
- [241] **Yang ZM, Peng Z, Li JH, Li SD, Kong LX, Li PW, Wang QH. 2014.** Development and evaluation of novel flavor microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach. *Food Chem* 145:272–7.

- [242] **Sinha AK, Sharma UK, Sharma N. 2008.** A comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and others constituents. *Intl J Food Sci Nutr* 59:299–326.
- [243] **Kha TC, Phan-Tai H, Nguyen MH. 2014a.** Effects of pre-treatments on the yield and carotenoid content of Gac oil using supercritical carbon dioxide extraction. *J Food Eng* 120:44–9.
- [244] **Vuong LT, Dueker SR, Murphy SP. 2002.** Plasma beta-carotene and retinol concentrations of children increase after a 30-d supplementation with the fruit *Momordica cochinchinensis* (gac). *Am J Clin Nutr* 75:872–9.
- [245] **Kha TC, Nguyen MH, Roach PD, Stathopoulos CE. 2014b.** Microencapsulation of gac oil by spray drying: optimization of wall material concentration and oil load using response surface methodology. *Dry Technol* 32:385–97.
- [246] **Fazaeli M, Yousefi S, Emam-Djomeh Z. 2013.** Investigation on the effects of microwave and conventional heating methods on the phytochemicals of pomegranate (*Punica granatum* L.) and black mulberry juices. *Food Res Int* 50:568–73.
- [247] **Abbasi H, Rezaei K, Rashidi L. 2008a.** Extraction of essential oils from the seeds of pomegranate using organic solvents and supercritical CO<sub>2</sub>. *J Am Oil Chem Soc* 85:83–9.
- [248] **Abbasi H, Rezaei K, Emamdjomeh Z, Mousavi SME. 2008b.** Effect of various extraction conditions on the phenolic contents of pomegranate seed oil. *Eur J Lipid Sci Technol* 110:435–40.
- [249] **Qu WJ, Pan ZL, Ma HL. 2010.** Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc. *J Food Eng* 99:16–23.
- [250] **Yamasaki M, Kitagawa T, Koyanagi N, Chujo H, Maeda H, Kohno-Murase J, Imamura J, Tachibana H, Yamada K. 2006.** Dietary effect of pomegranate seed oil on immune function and lipid metabolism in mice. *Nutrition* 22:54–9.

- [251] **Meerts I, Verspeek-Rip CM, Buskens CAF, Keizer HG, Bassaganya-Riera J, Jouni ZE, van Huygevoort A, van Otterdijk FM, van de Waart EJ. 2009.** Toxicological evaluation of pomegranate seed oil. *Food Chem Toxicol* 47:1085–92.
- [252] **Borouhaki MT, Assadpour E, Sadeghnia HR, Dolati K. 2014.** Protective effect of pomegranate seed oil against gentamicin-induced nephrotoxicity in rat. *J Food Sci Technol* 51:3510–14.
- [253] **Goula AM, Adamopoulos KG. 2012.** A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food Bioprocess Process* 90:639–52.
- [254] **Itthipanichpong C, Ruangrunsi N, Pattanaautsahakit C. 2002.** Chemical compositions and pharmacological effects of essential oil from the fruit of *Zanthoxylum limonella*. *J Med Assoc Thailand Chotmai het thangphaet* 85(Suppl. 1): S344–54.
- [255] **Das NG, Baruah I, Talukdar PK, Das SC. 2003.** Evaluation of botanicals as repellents against mosquitoes. *J Vector Borne Dis* 40:49–53.
- [256] **Maji TK, Hussain MR. 2009.** Microencapsulation of *Zanthoxylum limonella* Oil (ZLO) in genipin crosslinked chitosan-gelatin complex for mosquito repellent application. *J Appl Polym Sci* 111:779–85.
- [257] **Mylonas CC, Cardinaletti G, Sigelaki I, Polzonetti-Magni A. 2005.** Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at different temperatures. *Aquaculture* 246:467–81.
- [258] **Hossain MA, Harbi SRAL, Weli AM, Al-Riyami Q, Al-Sabahi JN. 2014.** Comparison of chemical constituents and antimicrobial activities of three essential oils from three different brands' clove samples collected from Gulf region. *Asian Pacific J Tropical Dis* 4:262–8.
- [259] **Gulçin I, Elmastas M, Aboul-Enein HY. 2012.** Antioxidant activity of clove oil – a powerful antioxidant source. *Arabian J Chem* 5:489–99.

- [260] **Soto CG, Burhanuddin CG. 1995.** Clove oil as a fish anaesthetic for measuring length and weight of rabbit fish (*Siganus lineatus*). *Aquaculture* 136:149–52.
- [261] **Menon KV, Garg SR. 2001.** Inhibitory effect of clove oil on *Listeria monocytogenes* in meat and cheese. *Food Microbiol* 18:647–50.
- [262] **Chatterjee D, Bhattacharjee P. 2013.** Comparative evaluation of the antioxidant efficacy of encapsulated and un-encapsulated eugenol-rich clove extracts in soybean oil: shelf-life and frying stability of soybean oil. *J Food Eng* 117:545–50.
- [263] **Vakili A, Sharifat S, Akhavan MM, Bandegi AR. 2014.** Effect of lavender oil (*Lavandula angustifolia*) on cerebral edema and its possible mechanisms in an experimental model of stroke. *Brain Research* 1548:56–62.
- [264] **Chograni H, Zaouali Y, Rajeb C, Boussaid M. 2010.** Essential oil variation among natural populations of *Lavandula multifida* L. (Lamiaceae). *Chem Biodivers* 7:933–42.
- [265] **Pala-Paul J, Brophy JJ, Goldsack RJ, Fontaniella B. 2004.** Analysis of the volatile components of *Lavandula canariensis* (L.) Mill., a Canary Islands endemic species, growing in Australia. *Biochem Syst Ecol* 32:55–62.
- [266] **Fakhari AR, Salehi P, Heydari R, Ebrahimi SN, Haddad PR. 2005.** Hydrodistillation-headspace solvent microextraction, a new method for analysis of the essential oil components of *Lavandula angustifolia* Mill. *J Chromatogr A* 1098:14–8.
- [267] **Xiao ZB, Liu WL, Zhu GY, Zhou RJ, Niu YW. 2014.** Production and characterization of multinuclear microcapsules encapsulating lavender oil by complex coacervation. *Flavor Fragrance J* 29:166–72.
- [268] **Danh LT, Mammucari R, Truong P, Foster N. 2009.** Response surface method applied to supercritical carbon dioxide extraction of *Vetiveria zizanioides* essential oil. *Chem Eng J* 155:617–26.
- [269] **Prata AS, Zanin MHA, Re MI, Grosso CRF. 2008.** Release properties of chemical and enzymatic crosslinked gelatin-gum Arabic microparticles containing a fluorescent probe plus vetiver essential oil. *Colloid Surf B-Biointerfaces* 67:171–8.

- [270] [https://www.researchgate.net/figure/Preparation-of-nanoparticles-NPs-by-salting-out-method\\_fig2\\_292671903](https://www.researchgate.net/figure/Preparation-of-nanoparticles-NPs-by-salting-out-method_fig2_292671903)
- [271] **Chan LW, Lim LT, Heng PWS. 2000.** Microencapsulation of oils using sodium alginate. *J Microencapsul* 17:757–66.
- [272] **Augustin MA, Sanguansri L, Bode O. 2006.** Maillard reaction products as encapsulants for fish oil powders. *J Food Sci* 71:25–32.
- [273] **Fang Z, Bhandari B. 2010.** Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends Food Sci Technol* 21:510–23.
- [274] **Tonon RV, Grosso CRF, Hubinger MD. 2011.** Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Res Int* 44:282–9.
- [275] **Rosenberg M, Kopelman IJ, Talmon Y. 1990.** Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *J Agric Food Chem* 38:1288–94.
- [276] **Gallo L, Llabot JM, Allemandi D, Bucala V, Pina J. 2011.** Influence of spray-drying operating conditions on *Rhamnus purshiana* (C'ascara sagrada) extract powder physical properties. *Powder Technol* 208:205–14.
- [277] **Liu ZQ, Zhou JH, Zeng YL, Ouyang XI. 2004.** The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *J Food Eng* 65:391–6.
- [278] **Zbicinski I, Delag A, Strumillo C, Adamiec J. 2002.** Advanced experimental analysis of drying kinetics in spray drying. *Chem Eng J* 86:207–16.
- [279] **Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. 2007.** Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res Int* 40:1107–21.
- [280] **Brazel CS. 1999.** Microencapsulation: offering solutions for the food industry. *Cereal Foods World* 44:388–90.

- [281] **Schafroth N, Arpagaus C, Jadhav UY, Makne S, Douroumis D. 2012.** Nano, and microparticle engineering of water insoluble drugs using a novel spray-drying process. *Colloid Surf B-Biointerfaces* 90:8–15.
- [282] **Koo SY, Cha KH, Song DG, Chung D, Pan CH. 2014.** Microencapsulation of peppermint oil in an alginate-pectin matrix using a coaxial electrospray system. *Int J Food Sci Technol* 49:733–9.
- [283] **Zhang LL, Huang JW, Si T, Xu RX. 2012b.** Coaxial electrospray of microparticles and nanoparticles for biomedical applications. *Expert Rev Med Devices* 9:595–612.
- [284] **Oetjen GW, Haseley P. 2004.** Freeze-drying. 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [285] **Krokida MK, Philippopoulos C. 2006.** Volatility of apples during air and freeze drying. *J Food Eng* 73:135–41.
- [286] **Desobry SA, Netto FM, Labuza TB. 1997.** Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for  $\beta$ -carotene encapsulation and preservation. *J Food Sci* 62:1158–62.
- [287] **Ocak B, Gulumser G, Baloglu E. 2011.** Microencapsulation of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil by using simple coacervation method. *J Essent Oil Res* 23:58–65.
- [288] **Piacentini E, Giorno L, Dragosavac MM, Vladisavljevic GT, Holdich RG. 2013.** Microencapsulation of oil droplets using cold water fish gelatine/gum arabic complex coacervation by membrane emulsification. *Food Res Int* 53:362–72.
- [289] **Zuidam N, Heinrich E. 2010. Encapsulation of Aroma. In: Zuidam NJ, Nedovic V,** editors. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. New York: Springer. p 127–60.
- [290] **Soliman EA, El-Moghazy AY, El-Din MSM, Massoud MA. 2013.** Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity. *J Encapsulat Adsorp Sci* 3:48–55.

- [291] **Sun-Waterhouse D, Zhou J, Miskelly GM, Wibisono R, Wadhwa SS. 2011.** Stability of encapsulated olive oil in the presence of caffeic acid. *Food Chem* 126:1049–56.
- [292] **Jyothi NVN, Prasanna PM, Sakarkar SN, Prabha KS, Ramaiah PS, Srawan GY. 2010.** Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *J Microencapsul* 27:187–97.
- [293] **Teunou E, Poncelet D. 2005.** Fluid-bed coating. In: Onwulata C, editor. *Encapsulated and powdered foods*. Boca Raton, USA: CRC Press. P 197–212.
- [294] **Anwar SH, 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* 105:367–78.
- [295] **Vandamme, T., Poncelet, D., Subra-Paternault, 2007,** *Microencapsulation : des sciences aux technologies*, Tech et Doc, Paris.



## *Serment de Galien*

*Je jure en présence des maîtres de cette faculté :*

- *D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*
- *D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé publique, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.*
- *D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- *De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisée de mes confrères si je manquais à mes engagements.*



## قسم أبقراط

بسم الله الرحمن الرحيم

أقسم بالله العظيم

في هذه اللحظة التي يتم فيها قبولي عضوا في المهنة الطبية أتعهد علانية:

- ◀ بأن أكرس حياتي لخدمة الإنسانية .
- ◀ وأن أحترم أساتذتي وأعترف لهم بالجميل الذي يستحقونه .
- ◀ وأن أمارس مهنتي بوانزع من ضميري وشر في جاعلا صحة مريض هدي في الأول .
- ◀ وأن لا أفشي الأسرار المعهودة إلي .
- ◀ وأن أحافظ بكل ما لدي من وسائل على الشرف والتقاليد النبيلة لمهنة الطب .
- ◀ وأن أعتبر سائر الأطباء إخوة لي .
- ◀ وأن أقوم بواجبي نحو مرضاي بدون أي اعتبار ديني أو وطني أو عرقي أو سياسي أو اجتماعي .
- ◀ وأن أحافظ بكل حزم على احترام الحياة الإنسانية منذ نشأتها .
- ◀ وأن لا أستعمل معلوماتي الطبية بطريق يضر بحقوق الإنسان مهما لاقيت من تهديد .
- ◀ بكل هذا أتعهد عن كامل اختيار ومقسما بالله .

والله اعلم ما أقدم عليه

جامعة محمد الخامس - الرباط  
كلية الطب والصيدلة بالرباط

أطروحة رقم: 71

سنة: 2018

## الكبسلة الدقيقة للزيوت: النهج الأفضل لتحسين المنتجات الغذائية؟ أطروحة:

..... قدمت ونوقشت علانية يوم.....

من طرف

السيد : رشيد عبد اللوي

المزداد في 18 مارس 1990 بسوق أربعاء الغرب

لنيل شهادة الدكتوراه في الصيدلة

الكلمات الأساسية: كبسلة دقيقة؛ زيت؛ مادة الغشاء؛ حفظ.

تحت إشراف اللجنة المكونة من الأساتذة:

رئيس

السيد: ميمون زوهدي

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

مشرف

السيد: عبد القادر لعنيريس

أستاذ في علم الصيدلة الغالينية

أعضاء

السيدة : سعيدة طلال

أستاذة في الكيمياء الحيوية

السيدة : سكيمة الحمزاوي

أستاذة في علم الأحياء الدقيقة