



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Spécialité : Microbiologie appliquée

Thème

*Applications des biosurfactants dans le Domaine
Alimentaire : Analyse Bibliométrique Préliminaire*

Présenté par :

-Melle Bakouka Rokeya

-Melle Bakria Manar

Devant le jury composé de :

Président : Dr MOSTEFAOUI Abdellah Maître de Conférences (A) UNIV-DJELFA

Examineur : Dr Mortet Ahmed Maître de Conférences (A) UNIV-DJELFA

Promoteur : Mr BAKHTI Mohamed Maître-assistant (A) UNIV-DJELFA

Année Universitaire 2022/2023

Dédicace

Je suis heureuse de dédier cet humble travail

À ma chère Mère et mon cher Père, leurs remerciements et leur dévouement ne peuvent être égalés par l'amour, le soutien et les encouragements qu'ils m'ont apportés tout au long de la réalisation de ce projet.

À ma chère grand-mère et ma tante, qui sont comme ma mère pour leur soutien

*À mes frères **ROKEYA** ,**RAYANE** , **SIRIN** ,**ARIDJE** et **MAHDI***

Que Dieu leur accorde santé et bien-être

MANAR BAKRIA

Dédicace

*Je rends d'abord grâce à **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir donné la force, le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir réaliser ce travail.*

Je dédie ce mémoire :

*A ma chère **Maman** qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.*

*A mon cher **Papa** qui a su se montrer patiente, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.*

A mes chers parents, je leur dit merci et à travers ce modeste travail j'espère qu'ils trouveront là de quoi être fière de leur petite fille.

*Ce travail est dédié à mon frère **IBRAHIM**, décédé trop tôt, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, que Dieu te garde dans son vaste paradis, allahyrahmo*

*A mes chers frères **KAMEL** et **BOUELAM** et **MOHAMED** et mes adorable sœurs **AMEL** et **MALIKA** et **NADJAI** qui ont toujours cru à ma réussite.*

*A mon cher beau frère, **AMRAOUI TAHER** que Dieu te garde en bonne santé.*

*A ma chère amie **MANAR** qui était toujours à mes cotés pour me soutenir et m'encourager.*

*Je dédie également ce projet, mon promoteur **Mr BAKHTI .M**, pour la proposition du sujet, ses conseils, ses critique constructives et son immense patience.*

BAKOUKA ROKEYA

Remerciements :

Avant tout, Nous remercions « ALLAH » le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.

Nous remercions très chaleureusement notre encadreur Mr. BAKHTI M, qui a accepté de superviser ce travail et surtout qui nous a encouragé, aidé et guidé avec ses précieux conseils et sa disponibilité pour nous avoir dirigé pour accomplir ce travail.

Nos sincères considérations et nos vifs remerciements vont également aux membres du jury le Dr. MOSTEFAOUL. A, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury et Mr. AMRAOUI. A, pour avoir accepté d'examiner ce modeste mémoire.

Nous remercions également :

Tous nos enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire dans cette spécialité.

MANAR et ROKEYA



Table des matières

| | |
|--|----|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Sommaire | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction générale | |
| <i><u>Chapitre I : Aperçu sur les biosurfactants</u></i> | |
| I.1. Introduction..... | 03 |
| I.2. Généralités sur les biosurfactants | 04 |
| I.2.1. Les tensioactifs | 04 |
| I.2.2. Les biosurfactants | 05 |
| I.3. Composition et structure chimiques..... | 06 |
| I.4. Classification des biosurfactants..... | 06 |
| I.4.1. Classement suivant la composition biochimique..... | 06 |
| I.4.1.1. Les glycolipides..... | 06 |
| I.4.1.2. Les lipopeptides | 07 |
| I.4.1.3. Les phospholipides | 07 |
| I.4.1.4. Les lipopolysaccharides LPS ou (les polymériques)..... | 07 |
| I.4.1.5. Les acides gras et les lipides neutres..... | 07 |
| I.5. Production et cinétiques de fermentation des biosurfactants... .. | 08 |
| I.6. Paramètres influençant la production..... | 09 |
| I.6.1. Influence de la source de carbone..... | 09 |
| I.6.2. Influence de l'azote..... | 10 |
| I.6.3. Influence du pH..... | 10 |
| I.6.4. Influence des sels minéraux..... | 10 |
| I.6.5. Influence de l'oxygène..... | 10 |
| I.6.6. Influence de la vitesse d'agitation..... | 10 |
| I.7. Utilisation des déchets et des sous-produits comme substrats..... | 11 |
| I.8. Propriétés physico-chimiques des biosurfactants..... | 11 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| I.8.1. Abaissement de la tension superficielle..... | 12 |
| I.8.2. Abaissement de la tension interfaciale..... | 12 |
| I.8.3. Concentration Micellaire Critique (CMC)..... | 12 |
| I.8.4. Balance hydrophile-lipophile (HLB)..... | 13 |
| I.8.5. Solubilisation des biosurfactants dans l'eau | 13 |
| I.9. Rôles physiologiques des biosurfactants..... | 16 |
| I.10. Criblage (Screening) de la production des biosurfactants | 16 |
| I.11. Méthodes d'extraction et de purification des biosurfactants | 18 |
| I.12. Techniques d'identification et de caractérisation | 19 |
| I.13. Avantages des biosurfactants..... | 20 |
| I.14. Limites et inconvénients des biosurfactants | 21 |
| I.15. Applications des biosurfactants dans l'industrie alimentaire..... | 21 |
| I.16. Diverses applications..... | 22 |
| I.17. Conclusion..... | 24 |
| <i>Chapitre II : Aperçu sur la bibliométrie</i> | |
| II.1. Introduction..... | 25 |
| II.2. Définitions et généralités sur l'analyse bibliométrique ou bibliométrie | 26 |
| II.3. Principales lois bibliométriques..... | 28 |
| II.4. Les indicateurs bibliométriques..... | 39 |
| II.5. Les outils bibliométriques..... | 30 |
| II.5.1.1. Les bases de données..... | 30 |
| II.5.1.2. Quelques indicateurs bibliométrique issus du WoS et de Scopus..... | 31 |
| II.6. Les outils d'analyse..... | 33 |
| II.6.1. Les outils qui génèrent des indicateurs chiffrés..... | 33 |
| II.6.2. Les outils de visualisation des données (Datavisualisation)..... | 33 |
| II.6.2.1. Définition et généralités de la datavisualisation..... | 33 |
| II.6.2.2. Logiciels de la datavisualisation..... | 35 |
| II.7. Conclusion..... | 36 |
| <i>Chapitre III : Matériel et méthodes</i> | |

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| III.1. Introduction | 37 |
| III.2. Objectifs et Méthodologie | 38 |
| III.3. Le choix et l'identification du sujet de recherche | 38 |
| III.4. Source des données..... | 39 |
| III.5. Extraction des informations à partir de la base de données : Scopus..... | 39 |
| III.6. Analyse des données..... | 41 |
| III.6.1. Analyse statistique des données..... | 41 |
| III.6.2. Analyse des performances..... | 41 |
| III.6.3. Visualisation..... | 45 |
| III.6.4. Thermologie de Vosviewer..... | 48 |
| III.7. Conclusion..... | 53 |
| <u>Chapitre IV : Résultats et discussion</u> | |
| IV.1. Introduction | 54 |
| IV. 2.Analyse statistique des données | 55 |
| IV.2.1. Nombre total et tendance temporelle des publications..... | 55 |
| IV.2.2. Types des Documents..... | 56 |
| IV.2.3. Langue des documents..... | 57 |
| IV.2.4. Le top des 10 journaux les plus actifs..... | 58 |
| IV.2.5. Le top des institutions les plus actives (10 et plus)..... | 59 |
| IV.2.6. Distribution de documents dans les 20 premiers pays..... | 59 |
| IV.2.7. Les Auteurs les plus prolifiques..... | 60 |
| IV.3.Evaluation des impacts et performance..... | 61 |
| IV.3.1. Métriques des citations..... | 63 |
| IV.4. Visualisation..... | 64 |
| IV.4.1. Analyse par cocitation – revues scientifiques (Sources) (30) | 64 |
| IV.4.2. Visualisation et analyse de Co-auteurs selon les Auteur..... | 67 |
| IV.4.3. Visualisation et analyse de citation pour les pays (30 documents)..... | 73 |
| IV.4. Visualisation et analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs (30 documents)..... | 76 |
| IV.5. Conclusion..... | 82 |

Table des matières

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Conclusion Générale | 84 |
| Références Bibliographiques | 87 |
| الملخص | |
| Résumé | |
| Abstract | |

Liste des tableaux

| Numéro | Intitulé | Page |
|---|--|------|
| <u>Chapitre I</u> <u>Aperçu sur les biosurfactants</u> | | |
| Tableau I.1 : | Principaux biosurfactants et leurs origine microbienne..... | 07 |
| Tableau I.2 : | L'utilisation des déchets à bas prix comme substrats pour la production des biosurfactants..... | 11 |
| Tableau I.3 : | Différentes méthodes de détection et d'analyse | 17 |
| Tableau I.4 : | Méthodes d'extractions et leurs avantages..... | 18 |
| Tableau I.5 : | Méthodes chromatographiques et spectroscopiques utilisées pour caractériser les molécules biologiques..... | 19 |
| Tableau I.6 : | Applications des biosurfactants à usage industriel..... | 23 |
| <u>Chapitre II</u> <u>Aperçu sur la bibliométrie</u> | | |
| Tableau II.1 : | Typologie et définition de la scientométrie, de la bibliométrie et de l'infométrie..... | 27 |
| Tableau II.2 : | Les lois fondamentales de la bibliométrie..... | 28 |
| Tableau II.3 : | Signalétique des trois principales bases bibliométriques..... | 31 |
| Tableau II.4 : | Indicateurs bibliométrique issus du WoS et de Scopus..... | 32 |
| Tableau II.5 : | Topologie des réseaux bibliométriques..... | 34 |
| Tableau II.6 : | Logiciels utilisés en analyse bibliométrique | 35 |
| <u>Chapitre III</u> <u>Matériel et méthodes</u> | | |
| Tableau III.1: | Quelques indicateurs de citation générés par le logiciel Publish or Perish..... | 44 |

Liste des tableaux

| | | |
|--|--|----|
| Tableau III.2: | Résumé des principales options fournies par l'assistant de création de cartes pour créer une nouvelle carte..... | 50 |
| Tableau III.3: | Types d'analyses effectuées..... | 51 |
| Tableau III.4: | Résumé des méthodes bibliométriques | 52 |
| <i>Chapitre IV</i> <i>Résultats et discussion</i> | | |
| Tableau IV.1 | Évolution des publications pour la période : 1993-2022..... | 55 |
| Tableau IV.2 | Évolution des publications pour la période : 2006-2022 (Articles)... | 56 |
| Tableau IV.3 | Le top des 10 journaux les plus actifs (640 actifs)..... | 58 |
| Tableau IV.4 | Distribution de documents dans les 20 premiers..... | 60 |
| Tableau IV.5 | Métriques des Citations..... | 63 |
| Tableau IV.6 | Analyse par cocitation selon les revues scientifiques (30)..... | 65 |
| Tableau IV.7 | Résultats de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (30) | 69 |
| Tableau IV.8 | Résultats de l'analyse de citation pour les pays (30) | 73 |
| Tableau IV.9 | Résultats de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés selon les auteurs..... | 77 |

Listes des figures

| Figure | Intitulé | Page |
|---|--|------|
| <i>Chapitre I</i> <i>Aperçu sur les biosurfactants</i> | | |
| Figure I.1 : | Structures générales des tensioactifs selon la composition de leurs groupements hydrophiles et en compositions non ioniques, anioniques, cationiques, amphotères | 05 |
| Figure I.2 : | Variations de la tension superficielle et la formation des micelles en fonction de la concentration en surfactant..... | 13 |
| Figure I.3 : | Propriétés fonctionnelles des biosurfactants : (A) Tension superficielle, (B) Tension interfaciale, (C) Adsorption, (D) Émulsification, (E) Désémulsification, (F) Formation de micelles, (G) Propriété mouillante, (H) Propriété moussante, (I) Activité anti-adhésion et (J) Activité antibiofilm..... | 15 |
| <i>Chapitre III</i> <i>Matériel et méthodes</i> | | |
| Figure III.1 : | Diagramme PRISMA..... | 40 |
| Figure III.2 : | Logiciel Publish or Perish de Harzing (version 8.0)..... | 43 |
| Figure III.3 : | Métriques de Citations générées par « Publish or Perish »..... | 45 |
| Figure III.4 : | L'interface du logiciel VOSviewer..... | 46 |
| Figure III.5 : | Fenêtre principale de VOSviewer. Les chiffres désignent (1) le panneau principal, (2) le panneau des options, (3) le panneau d'information, (4) le panneau de présentation et (5) le panneau d'action..... | 48 |
| Figure III.6 : | Fenêtre de création de cartes de VOSviewer..... | 49 |

Listes des figures

Chapitre IV Résultats et discussion

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| Figure IV.1 | Types de documents (640 documents)..... | 57 |
| Figure IV.2 | Langues des documents (640)..... | 57 |
| Figure IV.3 | Le top des institutions les plus actives (10 et plus)..... | 59 |
| Figure IV.4 | Les Auteurs les plus prolifiques..... | 60 |
| Figure IV.5 | Importation du fichier scopus.ris dans le logiciel Publish or Perish (version 8.0) de Harzing..... | 62 |
| Figure IV.6 | Visualisation de l'analyse par co-citation selon les revues scientifiques (visualisation en réseau)..... | 66 |
| Figure IV.7 | Visualisation de l'analyse par cocitation selon les revues scientifiques (visualisation de densité) (30) | 67 |
| Figure IV.8 | Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en réseau) (30) | 70 |
| Figure IV.9 | Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en superposition) (30) | 71 |
| Figure IV.10 | Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en densité) (30)..... | 72 |
| Figure IV.11 | Visualisation de l'analyse de citation pour les pays (visualisation en réseau) (30) | 74 |
| Figure IV.12 | Visualisation de l'analyse citation pour les pays (visualisation en suprtposition) (30) | 75 |

Listes des figures

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| Figure IV.13 | Visualisation de l'analyse de citation pour les pays (visualisation en densité) (30) | 76 |
| Figure IV.14 | Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs (visualisation en réseau) (30) | 79 |
| Figure IV.15 | Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs..... | 80 |
| Figure IV.16 | Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs (visualisation en densité) (30)..... | 81 |

Liste des abréviations

| | |
|--------------|--|
| BS | Biosurfactants |
| CMC | Concentration Micellaire Critique. |
| FTIR | Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier |
| GC-MS | Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse |
| HAP | Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques |
| HLB | Hydrophile Lipophile Balance. |
| HPLC | Chromatographie liquide à haute performance |
| HTS | High-throughput screening |
| LPS | Lipopolysaccharides. |
| SM | Spectrométrie de Masse. |
| pH | Potentiel d'hydrogène |
| RMN | Résonance Magnétique Nucléaire |
| TLC | Thin layer chromatographie |
| TS | Tension de surface (N/m) |
| CTAB | Bromure de cetyltriméthylammonium |
| LC-MS | Liquid chromatography–mass spectrometry |
| APIs | Application Programming Interface Références |
| WOS | Wob of science |
| JIF | Journal Impact Factor |
| SNIP | Source Normalized Impact per Paper |
| SJR | Scientific Journal Rankings |
| JCR | Journal Citation Reports |
| AIS | Score d'influence des articles |
| CSV | Comma Separated Values |
| RIS | Research Information System |
| JSON | Java Script Object Notation |
| GML | Geography Markup Language File |



Introduction

Générale



Introduction Générale

Les biosurfactants sont un groupe structurellement diversifié de molécules tensioactives produites par des micro-organismes. Ils peuvent s'accumuler à la surface des cellules ou être libérés dans le milieu extracellulaire. Ces molécules amphiphiles sont préférées à leurs homologues chimiques en raison de leur biodégradabilité, de leur faible toxicité et de leur efficacité dans des conditions extrêmes de température et de pH [1,2]. Les propriétés des biosurfactants telles que leur comportement émulsifiant, antiadhésif et antimicrobien sont importantes dans les industries alimentaire, pharmaceutique et pétrolière où ils sont également utilisés comme agents de dissolution des hydrocarbures (**VALLEJO *et al.*, 2021**).

Certains additifs sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour améliorer les propriétés des aliments car ils possèdent un grand nombre de microstructures complexes [1]. Dans ce contexte, de nouveaux produits ont été développés pour améliorer leur application, en prenant en compte différents types de transformation alimentaire. Parmi ces composés, les biosurfactants sont prometteurs comme constituants de ces formulations car ils possèdent des propriétés avantageuses (**RIBEIRO *et al.*, 2020**).

La recherche dans les bases de données académiques comme Scopus et Google Scholar indiquent une augmentation des publications sur les biosurfactants ; parmi les approches scientifiques d'études visant à étudier l'évolution de la recherche et de la technologie par les biais des statistiques et les outils informatiques et en se basant sur les bases de données de renommée disponibles sur internet, la bibliométrie occupe une place de choix.

L'analyse bibliométrique est une méthode appliquée pour explorer et analyser des volumes de données, en recherchant les nuances évolutives d'un domaine de connaissance spécifique, tout en mettant en lumière les domaines émergents (**DONTHU *et al.*, 2021**).

Les méthodes bibliométriques ont été utilisées pour mesurer les progrès scientifiques dans de nombreuses disciplines des sciences et de l'ingénierie et constituent un instrument de recherche courant pour l'analyse systématique (**Fu *et al.*, 2010**).

Des articles de synthèse ou articles de revue de littérature sur les biosurfactants ont été publiés ces dernières années sur les biosurfactants et leurs applications ; mais très peu d'études de synthèse bibliométrique ont été réalisées, sauf deux (**NUNES *et al.*, 2022**) et celle de (**SALHINASAB *et al.*, 2022**).

L'objectif de cette étude est de réaliser une recherche bibliométrique sur les biosurfactants en générale et sur leurs application alimentaires en particulier ; une recherche

Introduction Générale

conventionnelle statistique couvrant le type de document, la langue, les pays de publication, les instituts, les mots-clés et les revues, ainsi que la visualisation des données sous forme de cartes., pour obtenir un aperçu de la recherche sur les biosurfactants et les aspects alimentaires au cours de la période de 1992 à 2022.

À travers cette approche, l'objectif de ce travail de mémoire de Master a été :

- ✚ Etude bibliographique sur les biosurfactants, portant essentiellement sur les caractéristiques et les propriétés physicochimiques et microbiologiques des biosurfactants les techniques de criblage propres aux biosurfactants; et les méthodes d'extraction et de purification , ainsi que l'analyse physicochimique de leurs structures, ce chapitre s'achève par un aperçu sur l'utilisation et les applications de ces biomolécules dans divers domaines et tout particulièrement dans le domaine alimentaire.

Pour ce faire, ce manuscrit est structuré en quatre volets :

- ✚ Le premier chapitre, est une synthèse bibliographique non exhaustive qui présente l'essentielle d'informations sur les biosurfactants en ce qui concerne les propriétés physicochimiques, microbiologiques; techniques de criblage, d'extraction et d'analyse, ainsi que leurs applications.
- ✚ Le deuxième chapitre est consacré à une étude très brève sur la bibliométrie; du point de vue : définitions et généralités sur la bibliométrie, principales lois et indicateurs bibliométriques, les bases de données et les outils d'analyse de performance et de visualisation.
- ✚ Le volet Matériel et Méthodes porte sur les étapes suivantes:
 - Objectifs et Méthodologie ;
 - Source et Extraction des Données ;
 - Analyse Statistique des Données et des Citations ;
 - Visualisation des Données.
- ✚ Le volet Résultats et Discussion est axé sur les points suivants:
 - Analyse descriptive simplifiée du corpus de données ;
 - Analyse de performance ;
 - Analyse de performance par le logiciel PoP de Harzing ;
 - Visualisation des données par le logiciel Vosviewer.

Une conclusion générale termine ce travail de synthèse bibliométrique et est suivie de recommandations.



CHAPITRE I :

Aperçu

Sur

Les Biosurfactants



I.1. Introduction

Les biosurfactants sont des métabolites secondaires amphiphiles qui possèdent une activité de surface et d'interface significative en raison de la présence de fractions hydrophobes et hydrophiles dans une seule molécule. En raison de ces propriétés, les biosurfactants ont tendance à solubiliser les composés hydrophobes complexes et d'autres contaminants dans le système aqueux. Les biosurfactants dérivés de micro-organismes sont apparus comme un choix efficace par rapport à leurs homologues chimiques (**KASHIF *et al.*,2022**).

Les composés tensioactifs microbiens sont classés en fonction de leur structure moléculaire. Les composés de poids moléculaire élevé, communément appelés bioémulsifiants, comprennent les lipoprotéines, les lipopolysaccharides, les hétéropolysaccharides et les protéines. Les composés de faible poids moléculaire communément appelés biosurfactants comprennent les glycolipides (rhamnolipides, sophorolipides, lipides de mannosylérythritol et lipides de tréhalose) et les lipopeptides (par exemple surfactine, fengycine). (**TWIGG *et al.*, 2020**)

Compte tenu de leurs potentialités et de leur innocuité, ils sont toujours utilisés dans différents domaines d'application tels que l'environnement, l'industrie pétrolière, l'agronomie ou encore la cosmétologie et devraient rapidement trouver leur place dans de nouveaux secteurs d'applications tels que les industries agro-alimentaires, pharmaceutiques ou encore le domaine médicale (**Herry et Bellon-Fontaine, 2001**).

L'objectif principal de ce chapitre est d'effectuer un survol sur les biosurfactants du point de vue physicochimique, microbiologique et applications.

Ce chapitre porte sur les points:

- Composition structurale et les propriétés physico-chimiques des biosurfactants ;
- Paramètres influençant la production et la cinétique de fermentation des biosurfactants ;
- Échantillonnage et Isolement de micro-organismes producteurs de BS ;
- Criblage (Screening) de la production des biosurfactants ;
- Méthodes d'extraction et de purification des biosurfactants ;
- Techniques d'identification et de caractérisation ;
- Avantages et les limites des biosurfactants ;
- Applications des biosurfactants dans différents domaines, en particulier le domaine alimentaire.

I.2. Généralités sur les biosurfactants

I.2.1. Les tensioactifs

Les composés tensioactifs, appelés en anglais surfactants (abréviation de SURFace ACTive AgeNTS) (LARPENT, 1995).

Les molécules tensioactives comportent deux parties de polarités différentes.

— **Une partie apolaire**, hydrophobe, lipophile, présentant une affinité pour les huiles (soluble dans l'huile).

— **Une partie polaire**, hydrophile, présentant une affinité pour l'eau (soluble dans l'eau).

La partie lipophile est constituée par une ou plusieurs chaînes hydrocarbonée(s) aliphatique(s), linéaire(s) ou ramifiée(s), ou aromatique(s) ou encore alkylaromatique(s).

La partie hydrophile, ou tête polaire, est constituée par un ou plusieurs groupements polaires(s), ionique(s) ou non ioniques(s).

Les agents tensioactifs sont classés en fonction de la nature de la partie hydrophile puisque celle-ci gouverne leurs propriétés.

Le terme de composés amphiphiles s'applique aux molécules comportant deux parties de polarités différentes. Un tensioactif est toujours amphiphile ; par contre, un composé amphiphile n'est pas forcément tensioactif (LARPENT, 1995).

Les deux propriétés essentielles des composés tensioactifs qui permettent de comprendre les phénomènes observés et qui déterminent leurs domaines d'application sont :

- **L'adsorption aux interfaces** qui provoque une diminution des tensions interfaciales. Cette propriété est responsable des **phénomènes de mouillage, de dispersion, de détergence et d'émulsification** ;
- **L'autoagrégation** en solution ou micellisation qui gouverne les propriétés de **solubilisation et de microémulsification** (LARPENT, 1995).

On distingue les tensioactifs ioniques (anioniques, cationiques, zwitterioniques ou amphotères) et les non ioniques (LARPENT, 1995), (Figure I.1) (CAMPOS *et al.*, 2013)

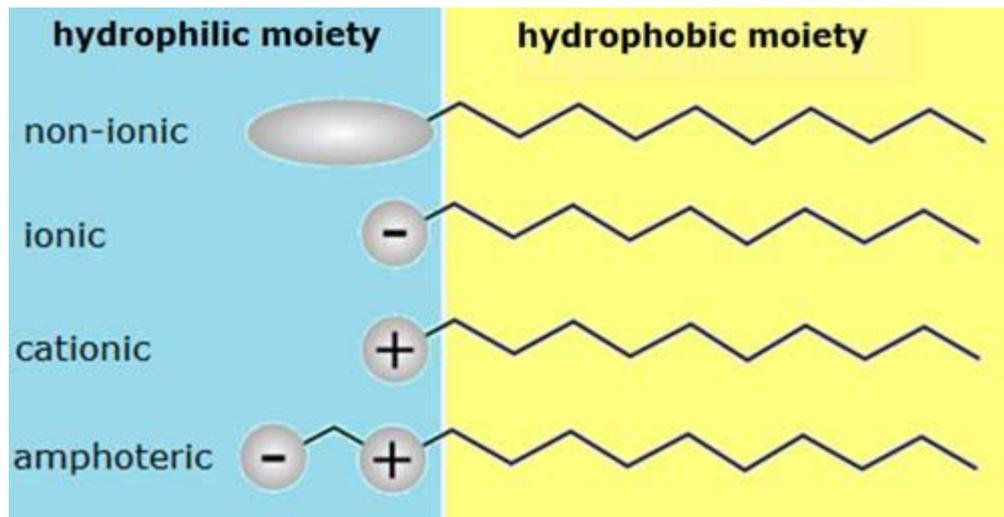


Figure I.1: Structures générales des tensioactifs selon la composition de leurs groupements hydrophiles et en compositions non ioniques, anioniques, cationiques, amphotères. (CAMPOS *et al.*, 2013)

I.2.2. Les biosurfactants

Les biosurfactants sont des métabolites secondaires amphiphiles qui possèdent une activité de surface et d'interface significative en raison de la présence de fractions hydrophobes et hydrophiles dans une seule molécule. En raison de ces propriétés, les biosurfactants ont tendance à solubiliser les composés hydrophobes complexes et d'autres contaminants dans le système aqueux (KASHIF *et al.*, 2022).

Les biosurfactants sont produits à la fois par des espèces eucaryotes et procaryotes. Ce sont des molécules tensioactives qui sont produites à la surface des cellules vivantes où excrétées de manière extracellulaire. Plusieurs espèces végétales, animales et microbiennes sont connues comme producteurs potentiels de biosurfactants. Les micro-organismes utilisent des biosurfactants pour faciliter la diffusion de substrats insolubles tels que les hydrocarbures dans la cellule. Bien que peu de biosurfactants à base de plantes, notamment les saponines, les lécithines et les protéines de soja, aient affiché de très bonnes propriétés d'émulsification, leur production à grande échelle n'est pas réalisable en raison de coûts plus élevés et d'autres défis tels que la solubilité et l'hydrophobicité *Idem*.

Les biosurfactants sont très efficaces dans des conditions extrêmes de température, de pH et de salinité, par rapport aux surfactants synthétiques. Ayant une diversité structurelle et des propriétés fonctionnelles ; les biosurfactants jouent un rôle important dans les applications

industrielles, pharmaceutiques et environnementales, y compris la détergence, le moussage, mouillage, émulsification, bioremédiation, stabilisation, lubrification, dispersion et solubilisation de composés hydrophobes (JAHAN *et al.*, 2020).

Actuellement, la demande de biosurfactants augmente à l'échelle mondiale en raison de ses propriétés prometteuses de biodégradabilité, et d'une toxicité moindre. Selon les estimations du marché mondial des biosurfactants, en 2017, sa valeur était d'environ 4,20 milliards de dollars et devrait croître d'environ 5,52 milliards de dollars en 2022 avec un taux de croissance annuel composé de 5,6 % (AMBAYE *et al.*, 2021).

I.3. Composition et structure chimique

La plupart de ces composés biosurfactants sont anioniques ou neutres. Seuls quelques-uns sont cationiques comme ceux contenant des groupements amines. La partie hydrophobe de la molécule est à base d'acides gras à longue chaîne, d'acides *gras hydroxylés*. La partie hydrophile peut être un glucide, un acide aminé, un peptide cyclique, un phosphate, un acide carboxylique ou un alcool (MULLIGAN, 2009).

La portion hydrophobe, quant à elle, influe sur la chimie des biosurfactants par son aromaticité, son nombre de carbones ou son degré de ramification (SANTOS *et al.*, 2016).

I.4. Classification des biosurfactants

Les biosurfactants peuvent être classés selon différents critères. Ils peuvent être classés en fonction de leur poids moléculaire (biotensioactifs de haut et de bas poids moléculaire), charge ionique (biotensioactifs anioniques, cationiques, non ioniques et neutres) et type de sécrétion (intracellulaire ; extracellulaire et adhérent aux cellules microbiennes). Cependant, la structure chimique présente le principal critère de classification des composés tensioactifs d'origine microbienne. En effet, on distingue les glycolipides, les lipopeptides, les tensioactifs particuliers, les acides gras, les phospholipides, les lipides neutres et les tensioactifs polymériques (INES et DHOUHA, 2015).

D'après BANAT *et al.* (2010) ces composés sont principalement classés selon leur poids moléculaire, leurs propriétés physico-chimiques, leur mode d'action, leur structure chimique et leur origine microbienne.

I.4.1. Classement suivant la composition biochimique

I.4.1.1. Les glycolipides

Sont constitués d’hydrates de carbone en combinaison avec une longue chaîne d’acides aliphatiques ou d’acides hydroxyaliphatiques. Les glycolipides les plus étudiés sont les rhamnolipides, les tréhalolipides et les sophorolipides (RON et ROSENBERG, 2002).

I.4.1.2. Les lipopeptides

Sont composés d’un lipide attaché à une chaîne polypeptide (ROSENBERG et RON, 1999). Les lipides d’ornitine sont les plus connus (HEALY *et al.* 1996).

I.4.1.3. Les phospholipides

Sont formés de groupements alcool et phosphate et de chaîne lipidique (HEALY *et al.* 1996). Divers phospholipides sont isolés à partir de culture de cellules libres de *Thiobacillus thiooxidans*. Ces phospholipides se lient à l’élément soufre qui est nécessaire à la croissance cellulaire (ROSENBERG et RON, 1999).

I.4.1.4. Les lipopolysaccharides (LPS) ou les polymériques

Sont constitués d’une ou plusieurs unités saccharides et d’acides gras (HEALY *et al.* 1996).

I.4.1.5. Les acides gras et les lipides neutres

Sont retrouvés chez tous les microorganismes et sont souvent des produits extracellulaires. Ce sont les biosurfactants qui possèdent la masse molaire la plus élevée (HEALY *et al.* 1996).

Le tableau I.1 suivant présente l’origine microbienne des principaux types de biosurfactants :

Tableau I.1 : Principaux biosurfactants et leurs origine microbienne (RUBA *et al.*, 2021).

| Surfactant class | Examples | Microorganism |
|------------------|-----------------------------|---|
| Glycolipids | Rhamnolipids | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , |
| | | <i>Pseudomonas putida</i> , |
| | | <i>Bacillus subtilis</i> , |
| | Cellobiolipids | <i>Ustilago maydis</i> |
| | Sophorolipids | <i>Candida bombicola</i> , <i>Candida apicola</i> |
| | Trehalipids | <i>Rhodococcus spp.</i> , <i>Tsukamurella spp.</i> , <i>Arthrobacter spp.</i> |
| | Mannosylerythritol lipide A | <i>Candida antarctica</i> , <i>Kurtzmanomyces spp.</i> |

| | | |
|---|------------------------|---|
| | | <i>Pseudozyma fusiformata</i> |
| Lipopeptides | Viscosin | <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> |
| | Serrawettin | <i>Serratia marcescens</i> |
| | Gramicidins | <i>Bacillus brevis</i> , <i>Brevibacterium brevis</i> |
| | Polymyxins | <i>Bacillus polymyxa</i> , <i>Brevibacterium polymyxa</i> |
| | Iturin | <i>B. subtilis</i> |
| | Peptide-lipide | <i>Achromobacter</i> spp. |
| | Subtilisin | <i>B. subtilis</i> |
| | Surfactin | <i>B. subtilis</i> |
| Acides gras, phospholipids, and neutral lipids | Fatty acids | <i>Nocardia erythropolis</i> , |
| | Neutral lipids | <i>Thiobacillus thiooxidans</i> , |
| | Phospholipids | <i>Candida lepus</i> , <i>Acinetobacter</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp., <i>Mycococcus</i> spp., <i>Candida</i> spp., <i>Penicillium</i> spp., <i>K. pneumoniae</i> |
| biosurfactants Polymériques | Emulsan | <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> |
| | Alasan | <i>Acinetobacter radioresistens</i> |
| | Biodispersan | <i>A. calcoaceticus</i> A2 |
| | Liposan | <i>Candida lipolytica</i> |
| | Mannan lipide protéine | <i>Candida tropicalis</i> |
| | Protéine PA | <i>P. aeruginosa</i> |
| biosurfactants Particululaires | Vésicales | <i>Acétobacter</i> spp. |

I.5. Production et cinétiques de fermentation des biosurfactants

La production de biosurfactants est un phénomène communément observé lors de la croissance d'un microorganisme sur des substrats insolubles dans l'eau et la réduction de la tension superficielle du milieu ainsi que la formation d'une émulsion stable indiquent une production efficiente (**PRUTHI et CAMEOTRA, 1995**).

Les bactéries utilisées pour produire les biosurfactants sont en général issues de sols contaminés par des molécules hydrophobes comme les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Elles sont donc isolées de leur milieu naturel et sont cultivées en laboratoire *Idem*.

La cinétique de production de biosurfactants présente des variations considérables entre les différents systèmes. Par commodité, les paramètres cinétiques sont regroupés comme suit (DESAI et BANAT, 1997):

➤ **Production associée à la croissance**

Pour la production de biosurfactant associée à la croissance, des relations parallèles existent entre la croissance, l'utilisation du substrat et la production de biosurfactant .

➤ **Production dans des conditions limitant la croissance**

La production dans des conditions limitant la croissance est caractérisée par une forte augmentation du niveau de biosurfactant en raison de la limitation d'un ou plusieurs composants du milieu.

➤ **Production par des cellules au repos ou immobilisées**

La production par des cellules au repos ou immobilisées est un type de production de biosurfactant dans lequel il n'y a pas de multiplication cellulaire.

Les cellules continuent néanmoins à utiliser la source de carbone pour la synthèse de biosurfactants.

➤ **Production avec ajout de précurseur**

De nombreux chercheurs ont rapporté que l'ajout de précurseurs de biosurfactants au milieu de croissance provoque des changements qualitatifs et quantitatifs dans le produit (DESAI et BANAT, 1997).

I.6. Paramètres influençant la production

Le type et la quantité de biosurfactants produits varient avec la composition du milieu (source de carbone ou autres nutriments) et les conditions de culture (température, agitation, pH, etc.). (HACHAICHI, 2008).

I.6.1. Influence de la source de carbone

La source de carbone est l'un des paramètres influençant le plus la production des biosurfactants, soit par augmentation, soit par diminution de la quantité produite. Les sources de carbone solubles dans l'eau (glycérol, glucose, mannitol ou éthanol) sont utilisées pour produire des rhamnolipides. Cependant, les rendements semblent être inférieurs à ceux

obtenus sur des substrats insolubles, comme des n-alcanes ou de l'huile d'olive (**DESAI et BANAT, 1997**).

En effet, les bactéries ont la capacité de croître sur des substrats hydrophobes (**CAMEOTRA et MAKKAR, 1998**).

I.6.2. Influence de l'azote

De nombreuses études ont montré que la synthèse de rhamnolipides se produisait lorsqu'il y avait un excès de carbone dans le milieu ou lorsque l'azote était en quantité limitante. L'azote peut être apporté sous différentes formes selon les bactéries productrices (**LANG et WULLBRANDT, 1999**). Pour avoir des rendements de production optimum, il est donc nécessaire d'avoir un rapport C/N idéal, et surtout que l'azote soit un facteur limitant (stress) pour favoriser la production de biosurfactant (**GABET, 2004**).

I.6.3. Influence du pH

Pour une souche de *Pseudomonas aeruginosa*, le pH du milieu de culture doit se situer entre 6,0 et 6,5. A des pH inférieurs ou supérieurs, la production de biosurfactants chute rapidement. D'autres souches comme *Norcardiacoryn bacteroides* sont in affectées par des pH variant de 6,5 à 8,0 (**ARINO et al.,1996**).

I.6.4. Influence des sels minéraux

Il semblerait qu'une concentration limitante en ions magnésium, calcium, potassium sodium ou éléments traces induise une augmentation de production (**GUERRA- SANTOS et al., 1986**).

I.6.5. Influence de l'oxygène

La disponibilité de l'oxygène peut également affecter la production à travers son effet sur l'activité cellulaire ou la croissance (**GABET, 2004**).

I.6.6. Influence de la vitesse d'agitation

Les milieux de culture sont agités lors de la production de biosurfactants. Pour les bactéries, une augmentation de la vitesse d'agitation induit une augmentation des vitesses de cisaillement et donc un rendement moindre. L'effet inverse est observé lorsque les organismes producteurs sont des levures (**DESAI et BANAT, 1997**).

I.7. Utilisation des déchets et des sous-produits comme substrats

L'utilisation de matières premières alternatives telles que les résidus agricoles est l'une des approches les plus frappantes pour la production économique de BS (SHARMA, 2021).

Une gamme de sous-produits agro-industriels bon marché et de déchets industriels riches en nutriments tels que le sucre et l'huile résiduelle d'origine végétale, la pâte ou les hydrolysats, les déchets de raffinerie, les déchets de l'industrie laitière, les féculents de pomme de terre, le lactosérum de fromage et les eaux usées et les effluents de distillerie , etc., ont été documentés pour soutenir la production de BS (SHARMA, 2021).

Le tableau suivant montre des exemples d'utilisation de différents types de déchets et sous produits par des espèces microbiennes pour la production des biosurfactants (SINGH *et al.*, 2018) .

Tableau: I.2. L'utilisation des déchets à bas prix comme substrats pour la production des biosurfactants (SINGH *et al.*, 2018)

| Type de déchets | Espèces microbiennes |
|--|--|
| Résidus alimentaires et agro-industriels (écorce de banane, liqueur de maïs, mélasse de datte, résidu de moringa, écorce d'orange, tourteau d'arachide, épiluchure de pomme de terre, farine d'écorce de sésame, bagasse de canne à sucre, résidu de thon) | Bacillus licheniformis, Bacillus pumilis, Candida tropicalis, Cunninghamella phaeospora, Pseudomonas aeruginosa, Halobacteriaceae archaeon |
| Déchets animaux (déchets de transformation du poisson, graisses animales, déchets d'abattoir) | Aneurinibacillus migulanus, Nocardia higoensis, Pseudomonas gessardii |
| Mil (dont déchets de raffinerie) et agro-industriels (déchets de moulins à huile, déchets de l'industrie de l'huile de palme, déchets de l'industrie de l'huile de soja, effluents prétraités de la tannerie) | Bacillus pseudomycoïdes, Bacillus subtilis, Brachybacterium, paraconglomeratum, Pseudomonas aeruginosa, |
| Déchets d'huile de cuisson (déchets d'huile de cuisson, déchets d'huile de coco de friture) | Candida lipolytica, Pseudomonas aeruginosa |

I.8. Propriétés physico-chimiques des biosurfactants

Les biosurfactants sont caractérisés par des propriétés spécifiques ; qui sont en corrélation avec leur composition chimique.

I.8.1. Abaissement de la tension superficielle

La tension superficielle est définie comme étant la force existant à la surface d'un liquide dû à l'attraction entre les molécules qui s'opposent à la rupture de la surface (**HOLMBERG, 2001**). **Exemple** : Le biosurfactant Rhamnolipides réduit la tension superficielle de l'eau (73mN/m) jusqu' à la valeur de 30mN/m (**RAMKRISHNA, 2010**).

I.8.2. Abaissement de la tension interfaciale

La tension interfaciale est la force nécessaire pour rompre la surface entre deux liquides immiscibles (**NEINDRE, 1993**). **Exemple** : la surfactine produite par *Bacillus subtilis* peut réduire la tension superficielle de l'eau à 25 mN/m et la tension interfaciale de l'eau/hexadécane à 1 mN/m. *Pseudomonas aeruginosa* produit des rhamnolipides qui diminuent la tension superficielle de l'eau jusqu'à 26 mN/m (**MULLIGAN, 2009**).

I.8.3. Concentration Micellaire Critique (CMC)

La concentration à partir de laquelle un composé tensioactif s'auto-associe sous forme de micelles en solution aqueuse est appelée concentration micellaire critique (**Figure I.2**).

La valeur de la concentration micellaire critique est une caractéristique du tensioactif : elle dépend de la nature chimique du tensioactif (longueur de la chaîne lipophile, nature de la tête polaire) mais également de facteurs externes tels que la concentration en électrolytes ou la température (**LARPENT, 1995**). En effet, dans les micelles, les parties hydrophobes se regroupent vers le centre, et les portions hydrophiles restent en contact avec l'eau (**GABET, 2004**).

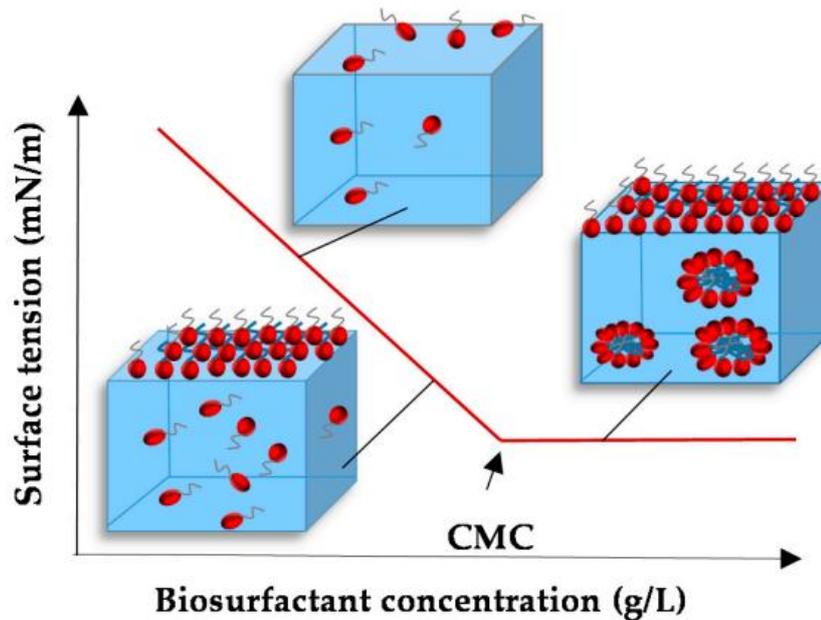


Figure I.2 : Variations de la tension superficielles et la formation des micelles en fonction de la concentration en surfactant (SANTOS *et al.*, 2016)

La CMC obtenues pour les biosurfactants varient de 1 à 200 $mg. L^{-1}$ (ABALOS *et al.*, 2001). La CMC d'un surfactant varie avec sa structure, la température de la solution, la présence d'électrolytes ou de composés organiques (EDWARDS *et al.*, 1991). La variation de la taille de la région hydrophobe est un facteur important et en général, la CMC diminue lorsque le caractère hydrophobe du surfactant augmente (HAIGH, 1996).

I.8.4. Balance hydrophile-lipophile (HLB)

La notion de **Balance hydrophile-lipophile (HLB)** a été proposé par GRIFFEN en 1949 (RICARDO *et al.*, 2009).

La HLB est un nombre sur une échelle de 0 à 20 qui indique relativement la tendance d'un tensioactif à se dissoudre dans l'huile ou dans l'eau. Sur cette échelle, une valeur de 0 correspond à une molécule complètement hydrophobe (lipophile), tandis qu'une valeur de 20 correspond à une molécule entièrement composée de composants hydrophiles.

I.8.5. Solubilisation des biosurfactants dans l'eau

Selon MARGARITIS *et al.* (1979), La solubilité d'un agent tensioactif dans l'eau dépend du nombre de liaisons C-C dans la queue lipophile de la molécule de tensioactif. Par exemple :

♣ Si la longueur de la chaîne est inférieure à 12 liaisons C-C, l'agent tensioactif est soluble dans l'eau car le groupe hydrophile polaire porte avec lui toute la molécule d'agent tensioactif.

♣ Si la queue lipophile non polaire est supérieure à 16 liaisons C-C, l'agent tensioactif est non soluble dans l'eau. La solubilité des tensioactifs dans l'eau ou dans les hydrocarbures (couramment appelés huiles) varie en fonction de l'importance relative de leurs parties hydrophobe et hydrophile (HLB, hydrophile lipophile balance) (LARPENT, 1995).

La figure suivante (**Figure I.3**) résume les différentes propriétés fonctionnelles des biosurfactants sous forme schématique (PARDHI *et al.*, 2022).

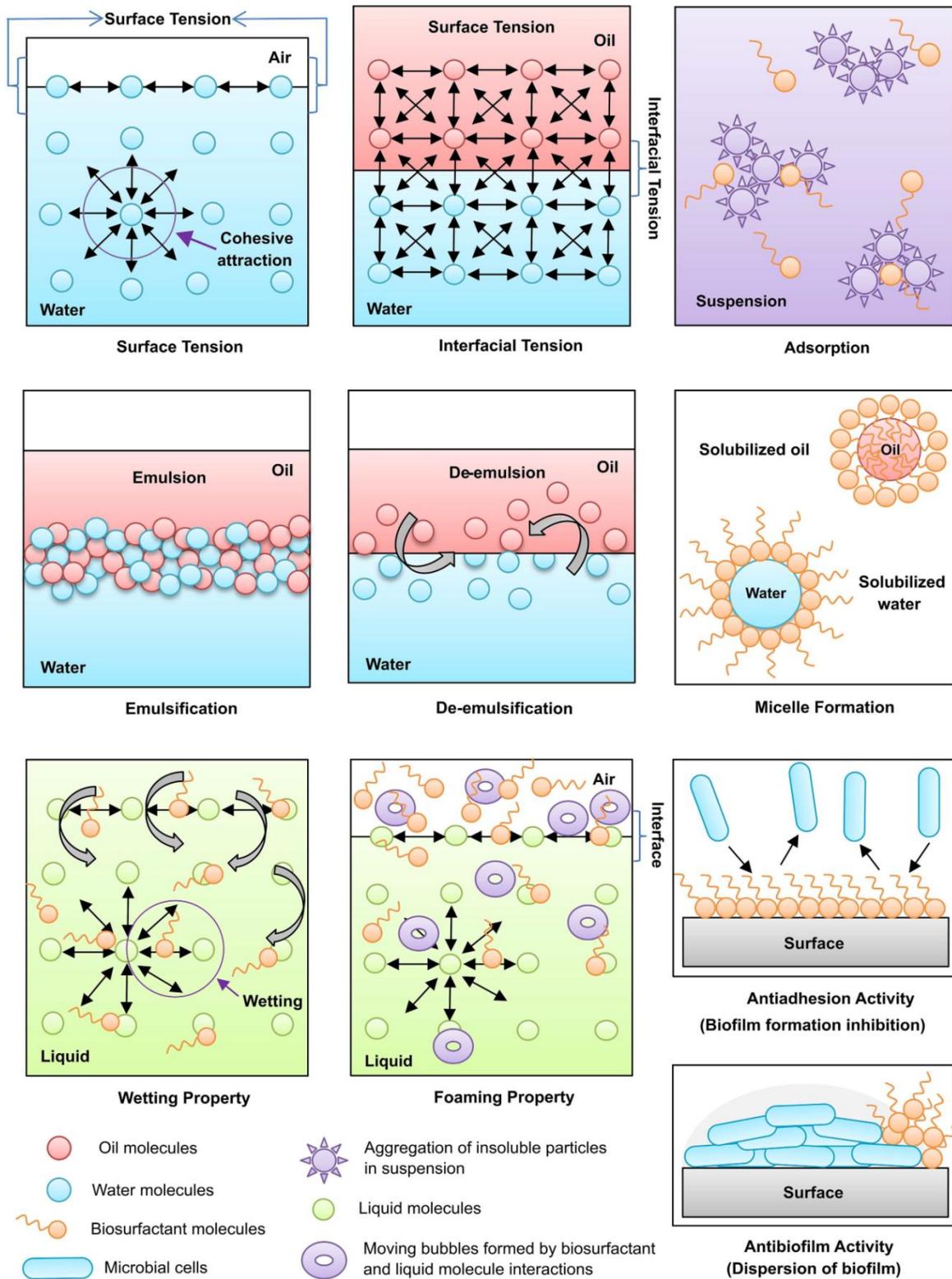


Figure I.3: Propriétés fonctionnelles des biosurfactants : (A) Tension superficielle, (B) Tension interfaciale, (C) Adsorption, (D) Émulsification, (E) Désémulsification, (F) Formation de micelles, (G) Propriété mouillante, (H) Propriété moussante, (I) Activité anti-adhésion et (J) Activité antibiofilm (PARDHI *et al.*, 2022).

I.9. Rôles physiologiques des biosurfactants

La fonction physiologique des bio-tensioactifs est encore inconnue, bien qu'il y ait eu beaucoup de spéculations dans la littérature et qu'il existe plusieurs fonctions pour ces molécules uniques et fascinantes.

Un rôle physiologique suggéré des biosurfactants est de faciliter la croissance de microorganismes sur des substrats non miscibles à l'eau en réduisant la tension interfaciale et en améliorant ainsi la biodisponibilité du substrat. D'autres fonctions suggérées comprennent l'amélioration de l'adhésion des cellules aux substrats insolubles, l'activité antibiotique et un rôle possible dans la pathogenèse de la fibrose kystique et des brûlures.

On a également découvert que certains biosurfactants se lient à certains métaux pour former des complexes métalliques fortement liés, suggérant un rôle pour les bio-tensioactifs dans l'interaction des microorganismes avec les métaux dans leur environnement (**MAIER, 2003**).

D'après **APARNA et al. (2011)**, Le rôle physiologique des bio-tensioactifs comprend :

- L'augmentation de la surface des substrats de croissance hydrophobes ; en réduisant la tension superficielle et la tension interfaciale entre la paroi cellulaire et l'environnement proche.
- Désorber les composés hydrophobes des surfaces en augmentant leur solubilité apparente
- Induire des modifications de la membrane pour augmenter l'hydrophobicité en réduisant le contenu lipopolysaccharide de la paroi cellulaire ; l'amélioration de la dispersion des hydrocarbures par encapsulation en micelles.

I.10. Criblage (Screening) de la production des biosurfactants

Différentes méthodes sont utilisées pour le dépistage de l'efficacité des biosurfactants, telles que le test d'étalement d'huile, le test d'hémolyse, l'indice d'émulsification, la méthode d'effondrement des gouttes, la méthode de la plaque de gélose bleue et la méthode de la gélose de superposition d'hydrocarbures (**SAMANTA et al., 2012**). De plus, de nos jours, la modélisation informatique et les criblages structurés sont utilisés pour le développement de biosurfactants aux propriétés de grande valeur, et ces facteurs jouent un rôle crucial dans les recherches futures (**ZHAO et al., 2016**). (**MULUGETA et al., 2021**)

Le tableau suivant résume les différentes techniques utilisées dans la détection et l'analyse quantitative et qualitative des biosurfactants (**TRINDADE et al., 2021**).

Tableau : I.3. Différentes méthodes de détection et d'analyse (PRISCILLA *et al.*, 2010)

| Technique Analytique | Analyse Qualitative | Analyse Quantitative | Vitesse d'Analyse | Application dans le HTS* |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|
| Mesure directe de la tension de surface/Tension interfaciale | ++ | + | Min | - |
| Test de collision par Effondrement | ++ | - | Min | + |
| Test de microplaques | ++ | - | Min | + |
| Test de pénétration | ++ | - | Min | + |
| Essai d'étalement d'huile | ++ | - | Min | - |
| Test de capacité d'émulsification | + | - | J | - |
| Solubilisation de l'antracène cristallin | + | - | J | +/- |
| Adhérence bactérienne à l'analyse des hydrocarbures | + | - | Min | - |
| Chromatographie d'interaction hydrophobe | + | - | H | - |
| Test de plaque réplique | + | - | J | - |
| Test d'agrégation des sels | + | - | Min | +/- |
| Test d'agar CTAB | + | - | J | - |
| Test d'hémolyse | + | - | J | - |

Analyse qualitative : ++ = très efficace, + = efficace.

Analyse quantitative : (de l'activité de surface) : + = Oui, - = Non.

Vitesse d'analyse (temps nécessaire par analyse) : min = analyse en quelques minutes,
 h = analyse en quelques heures,
 j = analyse en quelques jours ;

Application dans HTS : + = Oui, - = Non, +/- = non rapporté mais principalement applicable.

*HTS: *high-throughput screening* (Criblage à haut débit).

I.11.Méthodes d'extraction et de purification des biosurfactants

L'objectif des étapes d'extraction et de purification est d'obtenir le produit le plus pur possible, sans perte d'activité biologique et en un minimum d'étapes, de manière à ce que le coût soit le plus faible possible (**PASCAL, 2011**).

Pour extraire les biosurfactants du milieu de croissance, il est d'abord nécessaire de séparer les bactéries de ce milieu de culture (par centrifugation par exemple) (**DESAI et BANAT, 1997**).

Le tableau (**I.4**) suivant résume les techniques d'extraction et de purification des biosurfactants les plus utilisées :

Tableau I.4: Méthodes d'extractions et leurs avantages

| Méthodes d'extractions | Condition de séparation de biosurfactant | Avantages | Références |
|---|--|--|----------------------------------|
| Chromatographie D'adsorption | Il est basé sur le mécanisme d'adsorption du biosurfactant sur les surfaces des résines | Il implique une faible préparation de solvant, entraîne une purification plus élevée et constitue une méthode économique | JADHAV et al. 2018 |
| Ultrafiltration | Agrégation de mousse au-dessus de CMC | Résultats dans une plus grande pureté de biosurfactant et est une méthode peu coûteuse | WITEK-KROWIAK et al. 2011 |
| Chromatographie d'échange d'ions | Les biosurfactants chargés sont attachés aux résines échangeuses d'ions et peuvent être élués avec un tampon | Il en résulte une récupération plus rapide du produit avec un taux de purification plus élevé | SATPUTE et al., 2010 |
| Centrifugation | Aide à l'accumulation de biosurfactant en présence des forces centrifuges | Meilleur taux de purification | MUKHERJEE et al. 2006 |

| | | | |
|--|---|--|------------------------------|
| Précipitation à l'aide d'ammonium Sulfate Technique | La portée des protéines biosurfactant peut être précipitée en utilisant la technique de relargage | C'est une technique efficace pour récupérer biosurfactant | SATPUTE et al.,2010 |
| Précipitation Acide | Un pH bas entraîne des précipitations | Il fournit une récupération efficace et à faible coût des biosurfactants | MUKHERJEE et al. 2006 |
| Extraction à l'aide de solvants organiques | Le biosurfactant peut être dissous dans des solvants organiques en raison de la présence d'extrémités hydrophobes | Plus grande quantité de purification et de réutilisation | SATPUTE et al.,2010 |

I.12.Techniques d'identification et de caractérisation

Une fois les biosurfactants sont purifiés, Leur structure peut être déterminée par différentes méthodes d'analyse ; chaque méthode ou technique a ses propres forces et inconvénients, comme indiqué dans le tableau I.5. La chromatographie liquide-spectroscopie de masse est l'instrument le plus couramment utilisé (TWIGG et al.,2020).

Tableau I.5: Méthodes chromatographiques et spectroscopiques utilisées pour caractériser les molécules biologiques (SATPUTE et al.,2010)

| Méthode | Avantages | Inconvénients |
|--------------|--|---|
| LC-MS | Grandes bibliothèques commerciales et publiques Aucune dérivation requise De nombreux modes de séparation disponibles Grande capacité d'échantillonnage | Lente. Bibliothèques commerciales limitées |
| GC-MS | Sensible, Robuste, Large gamme linéaire | Lente, Nécessite souvent une dérivation. De nombreux composés thermiquement instables ou trop larges pour l'analyse |

| | | |
|-------------|--|--|
| NMR | Analyse rapide, Haute résolution Aucune dérivation nécessaire, Non destructif | Faible sensibilité, Plus d'un pic par composant, Bibliothèques d'utilisation limitée en raison d'une matrice complexe |
| HPLC | Acceptable pour divers types échantillons Précise Sensible Rapide Peut analyser les atomes neutres, les anions et les cations en une seule passe | A biosurfactant en ce de détecteur universel idéal Moins d'efficacité de séparation Difficile pour les tests réglementaires Chère |

I.13. Avantages des biosurfactants

Selon **GAKPE *et al.* (2007)**, Les biosurfactants possèdent les mêmes propriétés que ceux de leurs homologues d'origine chimiques ; mais ils possèdent de nombreux avantages potentiels spécifiques :

- ✓ Biodégradabilité : les bio-tensioactifs sont facilement dégradés par des bactéries et d'autres organismes microscopiques ; d'où ils ne représentent pas une grande menace pour l'environnement.
- ✓ Biocompatibilité et digestibilité : ceci garantit leur application dans les produits cosmétiques, pharmaceutiques et en tant qu'additifs alimentaires fonctionnels.
- ✓ Disponibilité des matières premières : les bio-tensioactifs peuvent être produits à partir de matières premières bon marché disponibles en grande quantité.
- ✓ Économies de production acceptables : en fonction de leur application, les bio-tensioactifs peuvent également être produits à partir de déchets industriels et de sous-produits et cela présente un intérêt particulier pour leur production en vrac.
- ✓ Utilisation dans le contrôle de l'environnement : les bio-tensioactifs peuvent être utilisés efficacement dans la manipulation d'émulsions industrielles, le contrôle des déversements d'hydrocarbures, la biodégradation et la désintoxication des effluents industriels et la biorémediation des sols contaminés.
- ✓ Spécificité : Les bio-tensioactifs étant des molécules organiques complexes avec des groupes fonctionnels spécifiques sont souvent spécifiques dans leur action. Cela serait particulièrement intéressant pour la désintoxication des polluants spécifiques, la

désémulsification des émulsions industrielles, des applications spécifiques en cosmétiques, pharmaceutiques et alimentaires.

I.14. Limites et inconvénients des biosurfactants

Selon **HEALY et al.(1996)**, Le principal facteur limitant l'usage des biosurfactants demeure l'aspect économique d'une production à grande échelle, dont les principaux obstacles sont :

- Faibles rendements de production par rapport au substrat(s);
- Importants investissements de capitaux;
- Faibles rendement volumiques (les réactions sont effectuées en solution diluée);
- Recours à la stérilisation des milieux;
- Problèmes de contrôle de procédé comme la formation de mousse;
- Problèmes de récupération et de purification de produit;
- Problèmes de caractérisation des produits finis en raison de leur complexité chimique.

I.15.Applications des biosurfactants dans l'industrie alimentaire

En raison de leur grande stabilité à pH, température et salinité extrêmes, toutes ces propriétés présentent un grand intérêt industriel et rendent les tensioactifs naturels très populaires (**KIRAN et al.,2017 ; GHASEMI et al., 2019**).

Les biosurfactants sont un bon choix dans l'industrie agroalimentaire, utilisés pour contrôler l'agglomération des globules gras, améliorer la consistance et la texture des produits à base de graisse (**RODRIGUES et al., 2006 ; GALDINO et al., 2019**). Ils aident également à stabiliser le système aéré des produits alimentaires contenant de l'amidon et à modifier les propriétés rhéologiques de la pâte de blé (**KRISHNASWAMY et al.,2008**).

Les rhamnolipides sont utilisés dans le secteur alimentaire pour améliorer la qualité des confiseries et des produits de boulangerie (**CAMPOS et al., 2013**).

Le bio-émulsifiant marin *Enterobacter cloacae* a été utilisé pour améliorer la viscosité des produits alimentaires acides (**SHEPHERD et al., 1995 ; IYER et al., 2006**). Les biosurfactants de champignons *spp.* sont utilisés dans les industries alimentaires et laitières. Des biosurfactants de *Saccharomyces cerevisiae* et du liposan de *Candida lipolytica* ont été utilisés pour stabiliser l'émulsion d'huiles végétales et d'eau respectivement (**PRISCILLA et al., 2010 ; RIBEIRO et al., 2020**).

En résumé les biosurfactants sont appliqués dans le domaine alimentaire grâce à leurs propriétés suivantes :

- ✚ Propriétés antimicrobiennes.
- ✚ Antibiofilm/hygiène alimentaire.
- ✚ Additifs alimentaires.
- ✚ Émulsifications alimentaires.
- ✚ Conservation des aliments.
- ✚ Antioxydants (**SHARMA,2021**).

I.16.Diverses applications

Les biosurfactants ont un large éventail d'applications biotechnologiques dans le pétrole, les boissons, les détergents, les textiles, les peintures, l'exploitation minière, la cellulose et la nanotechnologie (**RODRIGUES et al., 2006**). Les biosurfactants peuvent être utilisés pour la récupération des résidus de pétrole dans les réservoirs de stockage, d'autres processus de récupération de pétrole, le nettoyage des déversements de pétrole et la biorestauration du sol et de l'eau (**SILVA et al.,2014 ; SOBRINHO et al.,2013**).

Le tableau ci-dessous (**Tableau. I 6**) résume les applications et les rôles des biosurfactants dans différents domaines :

Tableau I .6 : Applications des biosurfactants à usage industriel (SARUBBO *et al.*,2022)

| Industrie | Applications | Rôles des biosurfactants |
|-----------------------------|--|---|
| Environnement | Bioremédiation ; Opérations de nettoyage des déversements d'hydrocarbures ; Assainissement des sols et rinçage | Emulsification des huiles, abaissement de la tension interfaciale, dispersion des huiles, solubilisation des huiles, mouillage, étalement, détergence, moussage, inhibition de la corrosion dans les huiles combustibles et les équipements, rinçage du sol. |
| Pétrole | Récupération améliorée du pétrole ; Désémulsification | Emulsification des huiles, abaissement de la tension interfaciale, désémulsification des émulsions d'huile, solubilisation des huiles, réduction de la viscosité, dispersion des huiles, mouillage des surfaces solides, étalement, détergence, moussage, inhibition de la corrosion dans les fuel-oils et les équipements. |
| Exploitation minière | Opérations de nettoyage des métaux lourds ; Assainissement des sols ; Flottation | Mouillage et moussage, collecteurs et mousses, enlèvement de métal ions de solutions aqueuses, sols et sédiments, métaux lourds séquestrants, étalement, inhibition de la corrosion dans les huiles. |
| Aliments | Émulsification et dés émulsification ; Ingrédient fonctionnel | Solubilisation des huiles aromatisées, contrôle de la consistance, émulsification, agent mouillant, étalement, détergence, moussage, épaississant. |
| Médicament | Microbiologique ; Pharmaceutique et thérapeutique | Agents anti-adhésifs, antifongiques, antibactériens, antiviraux, vaccins, thérapie génique, molécules immunomodulatrices. |
| Agriculture | Biocontrôle ; Les engrais | Mouillage, dispersion, suspension de pesticides en poudre et engrais, émulsification de solutions de pesticides, facilitation de mécanismes de biocontrôle des microbes, élimination des agents pathogènes des plantes et augmentation de la biodisponibilité des nutriments pour des microbes bénéfiques associés aux plantes. |
| Produits de beauté | Produits de santé et de beauté | Emulsification, agents moussants, solubilisation, agents mouillants, agents nettoyants, agents antimicrobiens, médiateurs de l'action enzymatique. |
| Nettoyage | Détergents à lessive | Détergents et désinfectants pour la lessive, le mouillage, la diffusion, inhibition de la corrosion. |
| Textiles | Préparation des fibres ; Teinture et impression ; Finition des textiles | Mouillage, pénétration, solubilisation, émulsification, détergence et dispersion, mouillage et émulsification en finition formulations, ramollissement. |
| Nanotechnologie | Synthèse de nanoparticules | Emulsification, stabilisation. |

I.17. Conclusion

Les biosurfactants sont produites par des microorganismes (tels que les bactéries, les champignons, les actinomycètes, les algues et les levures) et présentent divers avantages par rapport aux tensioactifs synthétiques. Les biosurfactants sont des molécules amphiphiles constituées d'une partie hydrophile polaire et d'une partie hydrophobe non polaire ; la partie hydrophobe, influe sur la chimie et la biochimie du biosurfactant, les biosurfactants sont de nature amphiphile et se répartissent préférentiellement aux interfaces.

Les biosurfactants sont classés suivant plusieurs critères ; charge de la partie hydrophile et sa composition, l'origine, le poids ; on distingue cinq grandes classes de biosurfactants : les glycolipides, les lipopeptides, les phospholipides, les lipopolysaccharides et les lipides neutres. Le type et la quantité de biosurfactants produits par les microorganismes varient avec la composition du milieu (source de carbone et les autres nutriments) et les conditions du milieu de culture (température, agitation, pH, etc.).

Les biosurfactants sont caractérisés par des propriétés spécifiques ; qui reflètent leur composition chimique et conditionnent leurs applications, nous pouvons citer : l'abaissement de la tension superficielle et interfaciale, (CMC), (HLB)...

Des techniques classiques et récentes d'extraction et de purification sont largement utilisées dans le cas des études concernant les biosurfactants, la centrifugation, la précipitation, la chromatographie d'adsorption et l'ultrafiltration sont les plus citées dans la littérature.

Après extraction et purification, La structure des biosurfactants peut être déterminée par différentes méthodes d'analyse : spectroscopie infrarouge, spectrométrie de masse couplée à la chromatographie en phase gazeuse, chromatographie sur couche mince (TLC), résonance magnétique nucléaire (RMN), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) microscopie électronique à balayage...

Les biosurfactants présentent plusieurs caractéristiques et propriétés qui pourraient être utiles dans de nombreux domaines de l'industrie, de la biotechnologie, l'environnement, pharmacie et alimentaire. Dans le domaine alimentaire, les biosurfactants sont utilisés comme agents : antioxydants et antiadhésifs, émulsifiants et stabilisants, antibiofilm sur les surfaces alimentaires, et aromatisants, antimicrobiens, émulsifiants, et dans la conservation des aliments et comme additifs alimentaires ...



CHAPITRE II

Aperçu

Sur

La Bibliométrie



II.1. Introduction

La bibliométrie est définie par **PRITCHARD (1969)**, comme étant « l'application des mathématiques et des méthodes statistiques aux livres, articles et autres moyens de communication » avec pour objectif d'arriver à la quantification de l'information écrite (**MOUILLET, 2016**).

La bibliométrie, d'après **SENGUPTA (2009)** est un outil de cartographie de l'état de l'art dans un domaine lié à des connaissances scientifiques données. Ainsi, l'utilisation de l'analyse bibliométrique (**TIERNOA et al., 2017**) identifie et analyse la performance scientifique des auteurs, des articles, des revues, des institutions, des pays par l'analyse des mots-clés et du nombre de citations constitue un élément essentiel qui donne aux chercheurs les moyens d'identifier des pistes et de nouvelles orientations par rapport à un thème d'actualité de recherche scientifique.. (**MOHADAB et al., 2020**).

Les méthodes bibliométriques ont été utilisées pour mesurer les progrès scientifiques dans de nombreuses disciplines des sciences et de l'ingénierie et constituent un instrument de recherche courant pour l'analyse systématique (**VAN RAAN, 2005**).

L'objectif visé à travers ce chapitre est de réaliser un aperçu bibliographique sommaire sur l'analyse bibliométrique.

Ce chapitre porte sur les points:

- ✓ Définitions et généralités sur l'analyse bibliométrique ou bibliométrie ;
- ✓ Principales lois bibliométriques;
- ✓ Les indicateurs bibliométriques ;
- ✓ Les outils bibliométriques :
 - Les bases de données ;
 - Les outils d'analyse :
 - Les outils qui génèrent des indicateurs chiffrés ;
 - Les outils de visualisation des données.

II.2. Définitions et généralités sur l'analyse bibliométrique ou bibliométrie

La bibliométrie peut être définie synthétiquement comme la discipline chargée de mesurer la communication et, plus spécifiquement, comme la spécialité chargée d'étudier quantitativement la production, la distribution, la diffusion et la consommation de l'information véhiculée dans tout type de document (livre, revue, conférence, brevet ou site Internet) et dans tous les domaines d'activité, mais avec une attention particulière à l'information scientifique. Cette discipline présente diverses caractéristiques particulières : **(MARTIN-MARTIN *et al.*, 2018)**.

- a) Il s'agit d'une discipline très jeune et ses fondements épistémiques ne sont pas encore complètement définis.
- b) C'est une discipline mieux définie par ses méthodes que par les domaines thématiques qu'elle couvre.
- c) Il a un fort caractère interdisciplinaire, qui découle de l'incorporation de méthodes et de techniques développées dans d'autres domaines, et de son application à l'étude de n'importe quel domaine. **(MARTIN-MARTIN *et al.*, 2018)**.

D'après **MARTIN-MARTIN *et al.*, (2018)** , c'est probablement pour ces raisons que cette discipline est connue sous de nombreux noms différents. Cependant, cela ne signifie pas que le sujet d'étude ou les frontières de la discipline ne sont pas clairement définis. C'est plutôt le signe de la coexistence de différentes traditions qui ont façonné le développement de la discipline.

La scientométrie est orientée vers l'analyse quantitative de la littérature scientifique et technique. Elle est issue de la tradition de la science des sciences (espace de confluence de la Sociologie, de l'Histoire et de la Philosophie des sciences), à laquelle la politique scientifique est également liée. La création des index de citations **(MARTIN-MARTIN *et al.*, 2018)**.

L'infométrie se concentre sur la découverte de modèles mathématiques qui expliquent les propriétés de l'information .Elle est liée à la science de l'information moderne. Webométrie **(MARTIN-MARTIN *et al.*, 2018)**.

Le **(Tableau II. 1)** dresse quelques caractéristiques de ces trois disciplines :

Tableau II.1. Typologie et définition de la scientométrie, de la bibliométrie et de l'infométrie (CARDOSO *et al.*, 2021).

| Typologie | Scientométrie | Bibliométrie | Infométrie |
|------------------------|--|---|--|
| Objet d'analyse | Disciplines, thèmes, zones et champs | Livres, documents, des revues, des articles, auteurs et utilisateurs | Des mots, des documents et bases de données |
| Variables | Nombre de publications | Nombre de citations, fréquence des mots, etc. | Nombre de publications, citations, références, etc |
| Indicateurs | Scientifique annuel production, chercheurs réalisations, publications par pays, publications par source, et publications par affiliation | Co-mot, co-citation, citation, bibliographie couplage, co-auteur, et chemin principal | Qualité, importance, et impact |
| Objectifs | Décrire le quantitatif aspects de la science | Comprendre le développement scientifique avec le principal sujets et contributeurs dans un domaine de recherche | Améliorer la récupération Efficacité |

D'après **MOUILLET (2016)**, la bibliométrie permet ainsi de remplir plusieurs missions:

- Evaluer une revue scientifique ;
- Apprécier l'impact d'un article dans la communauté scientifique ;
- Evaluer le travail d'un individu ou d'un groupe ;
- Suivre l'évolution d'un thème de recherche, etc.

Elle est utilisée dans plusieurs buts, par différents professionnels :

- Les bibliothécaires pour la gestion de leurs collections en identifiant les revues les plus courantes dans un domaine donné ;
- Les éditeurs et leurs comités de rédaction pour décider de leur politique éditoriale, surveiller la concurrence, lancer de nouveaux titres, etc. ;
- Les auteurs pour savoir dans quelles revues publier, pour élaborer leur veille bibliographique ;

- Les analystes pour développer de nouveaux outils, de nouveaux indicateurs ;
- Les experts des agences et comités d'évaluation professionnelle pour juger et comparer des chercheurs et des équipes à des fins de sélection, de classement, de promotion ainsi que les décideurs des ministères pour allouer leurs budgets ... (MOUILLET, 2016).

II.3. Principales lois bibliométriques

La bibliométrie est un outil de mesure statistique qui permet d'analyser un ensemble de données bibliographiques en soumettant leurs distributions à différentes lois telles que : la loi de Bradford, la loi de Lotka, la loi de Zipf, ou à des indicateurs univariés ou relationnels (ROSTAING, 1996).

Le tableau suivant résume les trois lois utilisées dans l'étude bibliométrique :

Tableau II.2 Les lois fondamentales de la bibliométrie (CARDOSO *et al.*, 2021).

| Loi | Description |
|--------------------------------|---|
| La loi de Lotka (1926) | Elle indique que le nombre d'auteurs apportant x contributions au cours d'une période donnée est une fraction du nombre apportant une seule contribution, suivant la formule $1/x^a$ où a est presque égal à 2. |
| La loi de Zipf (1949) | Elle indique que le mot le plus fréquent apparaîtra environ deux fois plus souvent que le deuxième mot le plus fréquent, trois fois plus souvent que le troisième mot le plus fréquent, et ainsi de suite, ce modèle pouvant être modélisé par la distribution Zipf. |
| Lois de Bradford (1934) | Elle précise que si les revues scientifiques sont classées par ordre décroissant de productivité d'articles sur un sujet donné, elles peuvent être divisées en un noyau de périodiques plus particulièrement consacrés à la sujet, et plusieurs « groupes » ou « zones » contenant le même nombre d'articles que le noyau, où le nombre de périodiques dans le noyau et les zones suivantes sera $1 : n : n^2$, où n est un multiplicateur |

Ces lois ont donné naissance aux principaux indicateurs utilisés pour mesurer la productivité et l'efficacité de la production scientifique (CARDOSO *et al.*, 2021).

II.4. Les indicateurs bibliométriques

La bibliométrie utilise des indicateurs ou des indices pour étudier l'évolution et les tendances de la recherche dans le domaine de la science et de la technologie. Au sens très large, un indicateur bibliométrique est un dispositif basé sur un mécanisme d'information (généralement des informations bibliographiques) et constitue un outil conceptuel destiné à faciliter la projection futuriste et l'évaluation de l'état actuel et du statut d'une activité intellectuelle. Au sens spécifique étroit, un indicateur bibliométrique est une mesure ou un indice ou une statistique (de préférence objective) de l'impact ou de la quantité de publications en tant que produits documentaires. Ceux-ci sont liés aux indicateurs de littérature, aux indicateurs de publication, aux indicateurs scientifiques, etc. **Ley Desdorff** considère un indicateur bibliométrique comme tout ce qui peut compter sur le texte. **Diodato** a utilisé la définition selon laquelle il s'agit de mesures fournissant des informations sur la nature d'un sujet (**SEN, 1999**).

Nous pouvons grouper les indicateurs bibliométriques suivant plusieurs critères.

D'après **ROSTAING (1996)**, nous pouvons classer les indicateurs bibliométriques en deux classes :

1. Les indicateurs univariés, c'est-à-dire de mesures purement quantitatives basées sur du simple dénombrement ou des calculs de ratio à partir des différents éléments bibliographiques : la date de publication, les revues, les auteurs, les organismes, les pays, les thèmes.
2. Les indicateurs relationnels, c'est-à-dire l'exploitation des méthodes d'analyse des données statistiques pour décrire les relations entretenues entre différents éléments bibliographiques : analyses des cocitations, des mots associés, des co-classifications, des co-publications, des co-opérations, des tableaux de contingences (**ROSTAING, 1996**).

D'après **GUTIERREZ-SALCEDO et al., (2018)**, nous pouvons les classer en fonction de la production scientifique et les différents impacts :

– **Indicateurs de production**: nombre total d'articles publiés, nombre d'articles publiés sur une période donnée, etc. Ils se concentrent sur le décompte des articles publiés par les différents acteurs scientifiques.

– **Indicateurs impact basés sur les citations reçues:** nombre total de citations (incluant ou excluant les auto-citations), nombre moyen de citations par article, taux d'auto-citations, nombre d'articles très cités, h-index, indice g, indice hg, q2-index, etc.

– **Indicateurs basés sur l'impact de la revue:** Facteur d'impact, SJR, facteur d'impact normalisé, taux de citations relatives, etc (**GUTIERREZ-SALCEDO et al., 2018**).

L'une des classifications générales les plus utilisées divise les indicateurs bibliométriques en indicateurs qualitatifs (liés à la qualité d'une revue, comme le facteur d'impact) et indicateurs quantitatifs (peuvent être mesurés numériquement, comme l'indice h). Cependant, pour obtenir un indice qualitatif, des critères quantitatifs doivent être utilisés, car il est calculé en « comptant » le nombre de citations ; ou bien un système de classification qui divise les indicateurs bibliométriques selon qu'ils s'appliquent à des auteurs/groupes de recherche ou à des revues (**GARCIA-VILLAR et GARCIA-SANTOS, 2021**).

La plupart des indicateurs bibliométriques sont arbitraires et artificiellement fournis. Ils ont peu de liens avec un quelconque contexte théorique ou avec une compréhension du processus sous-jacent. Tous les indicateurs bibliométriques ne peuvent pas être appliqués universellement. Ils sont contextuels et parfois très spécifiques (**SEN, 1999**).

II.5. Les outils bibliométriques

Pour mener une analyse bibliométrique ; il est impérative de bien choisir la base de donnée (source de donnée) ; des programmes informatiques, d'une part, pour traiter statistiquement les données obtenus et d'autre part de visualiser ces dernières (datavisualisation).

II.5.1.1. Les bases de données

Les études bibliométriques utilisent des banques de données scientifiques comme sources de données, dont la plupart sont payantes et d'autres gratuites ; les plus utilisées sont:

- ✓ Web of Science (Groupe de Thomson Reuters);
- ✓ Scopus (Groupe de Elsevier);
- ✓ Google Scholar (Groupe de Google).

Chacune de ces trois propose un indicateur bibliométrique de classement spécifique, avec des outils d'analyse et de diffusion dédiés (**Tableau II.3**) (**GEDDA, 2018**).

Le tableau suivant résume quelques caractéristiques de ces trois bases :

Tableau II.3. Signalétique des trois principales bases bibliométriques (GEDDA, 2018)

| Base | Web of Science TM | Scopus [®] | Google Scholar |
|------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|
| Groupe | Thomson Reuters | Elsevier | Google |
| Pays | États-Unis | Pays Bas | États-Unis |
| Création | 2002 | 2004 | 2004 |
| Index | Facteur d'impact | CiteScore | PageRank [®] |
| Analyse | InCites TM | SciVal | Scholar Metrics |
| Diffusion | Journal Citation Reports | Journal Metrics | Google Scholar Metrics |

II.5.1.2. Quelques indicateurs bibliométrique issus du WoS et de Scopus (GEDDA, 2018)

La plupart des bases de données possèdent leurs propres indices ou indicateurs bibliométriques, les plus utilisés sont l'œuvre des deux grandes bases : WoS et de Scopus ; le tableau suivant donne un aperçu de quelques indicateurs bibliométrique issus du WoS et de Scopus.

Tableau II.4. Indicateurs bibliométrique issus du WoS et de Scopus
(VALDERRAMA *et al.*, 2022)

| Web of Science | | Scopus | |
|---|---|--|--|
| Indicateur Métrique | Description | Indicateur Métrique | Description |
| • Journal Impact Factor (JIF) | Nombre moyen annuel de citations d'articles publiés dans les deux dernières années dans une revue donnée | • h-index de la revue | Valeur maximale de h telle que la revue donnée a été publiée à au moins h articles, chacun cité au moins h fois |
| • JIF 5 ans | Le même JIF mais en considérant une fenêtre de cinq ans au lieu de deux | • Source Impact Normalisée par Article (SNIP) | Nombre moyen de citations reçues par articles de revues sur trois ans |
| • JIF sans auto-citations | JIF sans autocitations est le même que le JIF, mais à une exception. toutes les citations d'une publication provenant de la publication elle-même | • CiteScore | Il mesure le ratio de citations par article publié Et de SCImago : |
| • Score du facteur propre | Nombre de fois où des articles de la revue ont été publiés au cours des cinq dernières années ont été cités dans l'année JCR calculée par un algorithme selon lequel les citations de revues très bien classées ont un plus grand poids que celles de revues mal classées. revues classées et hors auto-citations | • L'indice SCImago | Journal Rank (SJR) est une mesure de l'influence scientifique d'une revue qui tient compte à la fois du nombre de citations reçues et de l'importance ou du prestige des revues d'où proviennent ces citations |
| • Score d'influence des articles (AIS) | Il détermine l'influence moyenne des articles d'une revue. au cours des cinq premières années suivant la publication, toujours à l'exclusion des auto-citations | | |
| • Total de citations | Nombre total de fois qu'une revue a été citée par toutes les revues incluses dans la base de données au cours de l'année JCR | | |

II.6. Les outils d'analyse

Nous pouvons classer les outils d'analyse employés dans l'approche bibliométrique en outils générant des indicateurs et ceux servant à la visualisation des relations entre les différentes entités bibliométriques.

II.6.1. Les outils qui génèrent des indicateurs chiffrés

Les deux outils les plus utilisés ont été développés par les éditeurs des deux bases de données commerciales :

Incites, par Clarivate Analytics, l'éditeur du WoS

SciVal, par Elsevier, l'éditeur de Scopus

Ils permettent d'analyser le corpus de référence récupéré à partir des bases de données et de générer les indicateurs bibliométriques (**Site 1**).

En 2006, **Anne-Wil Harzing** a fait développer le logiciel téléchargeable gratuitement « Publish or Perish » qui récupère les données de Google Scholar pour les analyser et calculer, outre des mesures élémentaires (nombre total de documents, de citations, nombre moyen de citations par article et par auteur, nombre d'auteurs par article), divers indicateurs : (**Site 2**) et (**GEDDA, 2018**). ; Ce logiciel peut traiter les données d'autres bases comme le Web of science et Scopus entre autres.

II.6.2. Les outils de visualisation des données (Datavisualisation)**II.6.2.1. Définition et généralités de la datavisualisation**

Les technologies de datavisualisation peuvent se définir comme l'ensemble des outils et des méthodes de représentation graphique, qui s'appuient sur des techniques informatiques, mathématiques et sémiologiques mettant en œuvre des algorithmes de spatialisation permettant de représenter sur un plan un ensemble de données (**ARRUABARRENA, 2022**).

Les types de données vont être associés à des possibilités de représentations graphiques que l'on retrouve dans les principales typologies graphiques suivantes :

- ❖ numériques (diagramme à secteur, histogramme, nuage de points, boîte à moustache) ;
- ❖ hiérarchiques (*tree maps*, dendrogramme, etc.) ;
- ❖ temporelles (courbe évolution, *timeline*, etc.) ;
- ❖ relationnelles (diagramme circulaire de relation, diagramme Alluvial & Sankey, etc.) ;
- ❖ réseaux (graphe de réseau, diagramme en arc, etc.) ;

- ❖ spatiales avec la cartographie numérique. (ARRUABARRENA, 2022).

Ces outils permettent de visualiser les données de manière plus parlante et plus agréable sous forme de cartes. Les logiciels gratuits les plus connus sont VOSviewer et Gephi. Ils permettent :

- L'analyse de grandes quantités de mots (texte intégral des publications)
- La recherche des cooccurrences de mots et la production de clusters de mots
- La traduction des résultats sous forme de carte.

Les cartes générées viennent souvent compléter les analyses bibliométriques classiques et intéressent autant les chercheurs que les décideurs, dans le but par exemple, d'identifier des concurrents, des collaborations, ou des thématiques (Site 1).

Plusieurs relations entre les unités d'analyse (journaux, documents, références citées auteurs, affiliation des auteurs...) peuvent être réalisées ; les relations entre les différentes unités peuvent représentées sous forme de graphes ou réseaux (COBO, 2011).

Dans le (Tableau II.5), une taxonomie des techniques bibliométriques les plus courantes selon les unités d'analyse utilisées et les relations établies entre elles est présentée. (COBO, 2011).

Tableau II.5. Topologie des réseaux bibliométriques (CARDOSO *et al.*, 2021).

| Topologie | Nœud | Unités d'analyse | Type de relation |
|---------------------------------|--|--|--|
| Coauteur | -Auteur -Pays -Établissement | - Le nom de l'auteur - Pays d'affiliation - Établissement d'affiliation | - Cooccurrence des Auteurs - Cooccurrence Des pays' - Cooccurrence des établissements |
| Co-mot | - Mot-clé - Terme | -Mot clé, ou terme -extrait du titre, -résumé ou corps du document | - Cooccurrence des termes |
| Citation | - Auteur - Document - Revue -Organisation - Pays | - Le nom de l'auteur - Documents -Nom du journal - Nom de l'organisation - Nom du pays | - Auteur cité - Documents cités - Revue citée - Organisation citée - Pays cité |
| Couplage bibliographique | - Auteur - Document - Revue | - Œuvres de l'auteur - Documents - Œuvres de la revue | - Références communes parmi les œuvres des auteurs - Références communes parmi les documents - Références communes parmi les œuvres des journaux |
| Co-citation | - Auteur - Document - Revue | - Référence de l'auteur - Référence - Référence du journal | - Auteur co-cité - Documents co-cités - Revue co-citée |

II.6.2.2. Logiciels de la datavisualisation

Des logiciels de datavisualisation payants et libres ont été développés, permettant une analyse des réseaux par la technique de science mapping ; le (Tableau II.6) présente quelques logiciels utilisés par les chercheurs au cours de l'analyse bibliométrique.

Tableau II.6. Logiciels utilisés en analyse bibliométrique (COBO, 2011) et (CARDOSO *et al.*, 2021).

| Logiciel | Année | Développé par |
|---------------------------------------|-------|---|
| Bibexcel | 2010 | University of Umeå (Sweden) |
| CiteSpace | 2010 | Drexel University (USA) |
| CoPalRed | 2005 | University of Granada (Spain) |
| IN-SPIRE | 2010 | Pacific Northwest National Laboratory |
| Leydesdorff's Software | N/A | University of Amsterdam (The Netherlands) |
| Network Workbench Tool | 2009 | Indiana University (USA) |
| Science of Science (Sci2) Tool | 2010 | Indiana University (USA) |
| VantagePoint | 2010 | Search Technology, Inc. |
| VOSViewer | 2010 | Leiden University (The Netherlands) |

II.7. Conclusion

Ce chapitre a eu comme objectif une étude bibliographique très sommaire sur l'analyse bibliométrique ou la bibliométrie, une discipline qui a pour vocation l'étude mathématique et statistique de la production scientifique et technologique.

L'étude se focalise sur les points suivants :

- ✓ Définitions et généralités sur l'analyse bibliométrique ou bibliométrie ;
- ✓ Principales lois et indicateurs bibliométriques, les outils bibliométriques :
 - Les bases de données ;
 - Les outils d'analyse :
 - Les outils qui génèrent des indicateurs chiffrés ;
 - Les outils de visualisation des données.

De nos jours, de nombreuses institutions scientifiques, technologiques, économiques etc. utilisent la méthodologie bibliométrique pour une veille scientifique technologique et faire face la publication en recherche, qui est caractérisée par une croissance exponentielle.

L'analyse bibliométrique a acquis une immense popularité ces derniers temps en raison de la présence des bases de données comme le Web of Science, Scopus, Google Scholar, entre autres ; ainsi que la disponibilité d'outils d'analyse et de logiciels de visualisation de la cartographie de la littérature scientifique, forte de ses indices ou indicateurs bibliométriques, cette approche d'analyse, par exemple, sert à quantifier l'impact d'une ou d'un ensemble de publications à l'échelle d'un auteur, d'un document, d'une revue, d'organisation ou d'un Pays ...

L'analyse bibliométrique est une approche efficace pour résumer et faire la synthèse de la littérature d'un sujet donné, mais elle a des limites venant des bases, de la métrologie elle-même et de l'interprétation et des conclusions des chercheurs, car les données bibliométriques issues de bases de données scientifiques peuvent contenir des erreurs affectant toute l'analyse ultérieure, donc un nettoyage doit être réalisé ; et pour balayer toute affirmation erronée, les chercheurs doivent compléter leur étude par d'autres techniques, et enfin il faut s'abstenir de faire de affirmations ou des prévisions à long terme.

Malgré ces limites et inconvénients, cette analyse permet aux chercheurs une meilleure compréhension, et faciliter ainsi la création de connaissances nouvelles dans la recherche fondamentale et appliquée mais également dans d'autres domaines de la science.



CHAPITRE III :

Matériel

Et

Méthodes



III.1. Introduction

L'analyse bibliométrique est une technique statistique utilisée pour évaluer la qualité et la quantité de la littérature scientifique publiée et pour étudier les tendances de la recherche et diverses analyses de citations dans un domaine donné (SWEILEH *et al.*, 2017).

Les méthodes bibliométriques ont été utilisées pour mesurer les progrès scientifiques dans de nombreuses disciplines des sciences et de l'ingénierie et constituent un instrument de recherche courant pour l'analyse systématique (VAN RAAN, 2005).

En bibliométrie, il existe deux méthodes principales pour explorer un domaine de recherche : l'analyse des performances et la cartographie scientifique. Alors que l'analyse des performances vise à évaluer l'impact des citations de la production scientifique des différents acteurs scientifiques, la cartographie scientifique vise à montrer la structure conceptuelle, sociale ou intellectuelle de la recherche scientifique, ainsi que son évolution et ses aspects dynamiques (GUTIERREZ-SALCEDO *et al.*, 2018).

L'analyse bibliométrique des performances se concentre sur la mesure de la production scientifique à travers des indicateurs de qualité et de quantité (GUTIERREZ-SALCEDO *et al.*, 2018).

D'autre part, la cartographie scientifique ou cartographie bibliométrique est une représentation spatiale de la façon dont les disciplines, les domaines, les spécialités et les documents ou auteurs sont liés les uns aux autres. Il a été largement utilisé pour montrer et découvrir les éléments clés cachés (documents, auteurs, institutions, sujets, etc.) dans différents domaines de recherche *Idem*.

La structure de ce chapitre : Matériels et Méthodes porte sur les étapes suivantes:

- Objectifs et Méthodologie ;
- Source et Extraction des Données ;
- Analyse Statistique des Données et des Citations ;
- Visualisation des Données.

III.2. Objectifs et Méthodologie

L'objet de cette étude est d'appliquer l'approche de l'analyse bibliométrique pour évaluer les différents aspects de recherche sur l'utilisation des déchets et les sous-produits agroalimentaires pour la production des biosurfactants et les applications alimentaires. couvrant le type de document, la langue, les pays de publication, les instituts, les revues et la catégorie de sujet, mais aussi d'autres aspects comprenant les mots du titre de l'article, les mots-clés de l'auteur, et analyse « Keywords Plus », l'analyse des citations et facteurs d'impact avec h-index comme indicateur d'évaluation, et créer une carte du réseau de la littérature scientifique, pour obtenir une vue d'ensemble de la littérature sur notre sujet au cours de la période de 1992 à 2022.

Cette étude comporte plusieurs étapes :

1. Le choix et l'identification du sujet de recherche,
2. Choix de la base de données,
3. Equation ou requête de recherche,
4. Raffinement de la recherche
5. Extraction de deux fichiers de données, l'une sous forme csv: l'autre sous ris et csv (mêmes données),
6. Analyse statistique du fichier de données sous forme csv par MS Excel,
7. Analyse de performance du fichier de données sous forme ris par Le logiciel Publish or Perish (version 8) de Harzing pour calculer les métriques des citations,
8. Analyse des résultats de l'analyse cartographique et visualisation de la cartographie des données de publication à l'aide de l'application VOSviewer (version 1.6.19).

III.3. Le choix et l'identification du sujet de recherche

Le thème du sujet est choisi pour diverse raisons, en particulier :

- L'énorme quantité de publications concernant les biosurfactants et leurs applications, au cours de ces dernières décennies ;
- Le manque d'analyse bibliométrique sur les biosurfactants en général, en lien avec l'alimentaire en amont et en aval de la production des biosurfactants ; nous avons recensé seulement deux articles qui traitent de ce sujet : Analyse-Bibliométrique-Biosurfactants-Alimentaire ;

- Les notions de protection de l'environnement et du développement durable et de l'économie circulaire qui incitent et orientent à trouver des alternatifs aux tensioactifs d'origine chimiques, connus par leur toxicité et écotoxicité.

III.4. Source des données

Comme il existe de nombreuses bases de données bibliographiques, La première étape dans la réalisation d'une analyse bibliométrique consiste à choisir et à identifier la source de données (base de données) idéale qui correspond à la validité scientifique de notre sujet de recherche.

L'ensemble de données extraites provient de la base de données de **Scopus** (<http://www.scopus.com>). Cette base de données est la source de données la plus courante et la plus connue pour les études bibliométriques. De plus, Scopus est facilement accessible dans la plupart des systèmes de bibliothèques en ligne des universités (**LINNENLUECKE et al., 2020**).

Cette base de données à été choisie aussi pour sa capacité à sauvegarder les données dans des formats que les logiciels de traitement de données peuvent analyser.

L'analyse bibliométrique a été effectuée à l'aide de la base de données Scopus le 20 juin 2022. Le terme de recherche "biosurfactant and food" dans le titre de l'article, le résumé et les mots clés sont utilisés pour trouver des articles publiés dans n'importe quelle langue liés à la recherche sur les biosurfactants et leurs utilisations agroalimentaires. Nous nous concentrons sur le titre de l'article car c'est le premier élément que le lecteur remarquera (**ANNESLEY, 2010**). Il représente des sujets pertinents importants pour le domaine de recherche et les objectifs de l'étude. Nous avons affiné la recherche à l'année de publication de 2006 à 2022 pour identifier les dernières tendances de la recherche sur notre sujet.

III.5. Extraction des informations à partir de la base de données : Scopus

Les données sont extraite de la base de données Scopus avec comme équation de recherche : biosurfactant and food.

Le digramme suivant représente les différentes étapes de recherche est présenté par la **figure III.1**.

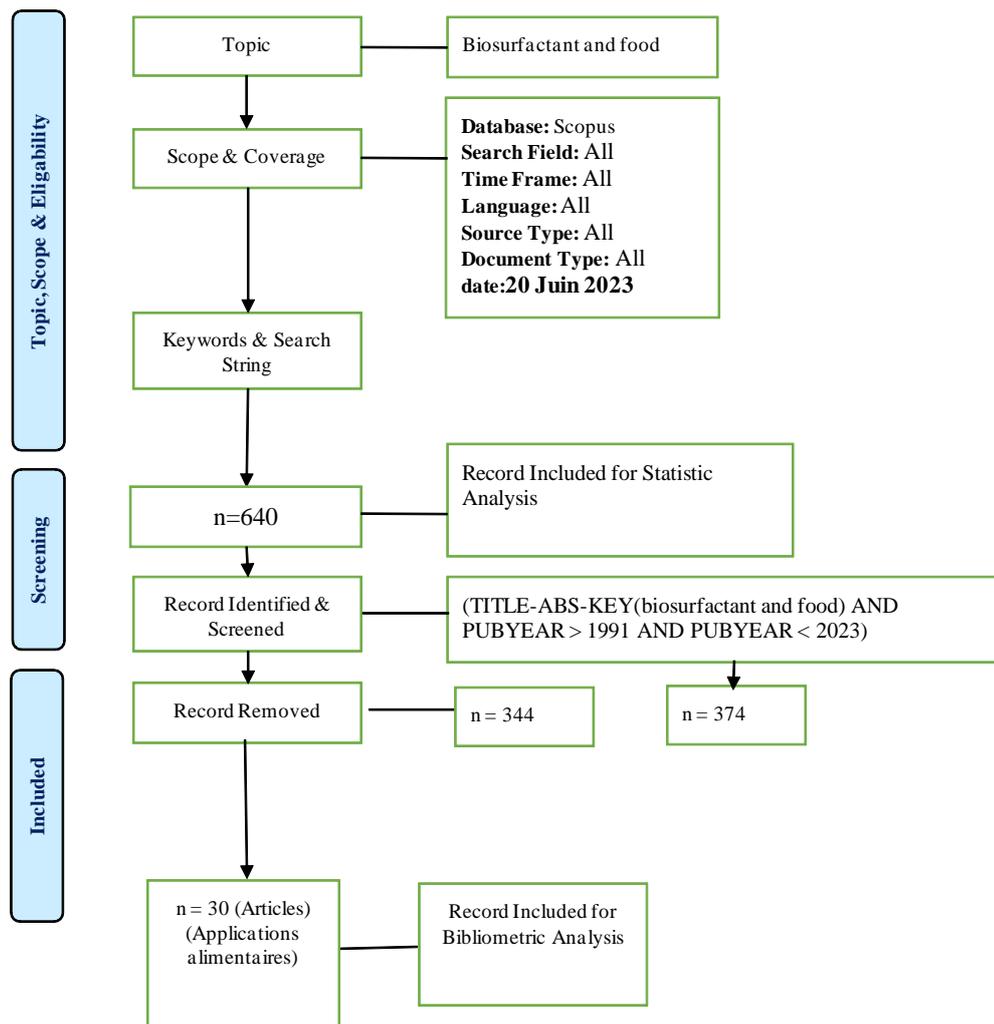


Figure III.1. Diagramme de Recherche

III.6. Analyse des données

Pour l'analyse des données de notre recherche, nous avons utilisé les programmes informatiques suivants :

1. Le logiciel Microsoft Excel 2007 pour calculer la fréquence et le pourcentage de matériel publié et pour générer des tableaux et des graphiques adaptés.
2. Le logiciel Publish or Perish (version 8.0) de Harzing pour calculer les métriques des citations.
3. Le logiciel VOSviewer (version 1.6.19) pour créer et visualiser des réseaux bibliométriques, analyser et décrire des mots-clés abstraits et des auteurs, ainsi que des relations et collaborations entre auteurs, pays et publications dans des corpus de données.

III.6.1. Analyse statistique des données

Le premier traitement des données consiste à étudier les informations se trouvant dans le premier fichier (forme csv,) s'ouvert avec MS Exel..

Le fichier à traiter, extrait de Scopus s'appelle : (**Scopus_exported_refine_values.csv**) ; il comporte les informations suivantes sous forme de colonnes :

Le nombre de documents obtenus, le nombre de documents à accès libre, Le nombre de documents par année, les noms des auteurs avec le nombre de leurs publications, les types des documents, l'état des publications, le nombre de revues avec le nombre de leurs publications, les mots clés, l'affiliation, les sponsors financiers, le pays, le type de la source et les langues des publications.

A travers ces informations, nous pouvons générer des tableaux et des graphes ; et après interprétation, il est possible de tirer des conclusions et éventuellement des prévisions.

III.6.2. Analyse des performances

Le deuxième traitement consiste à étudier les informations se trouvant dans le deuxième fichier (sous forme ris.)

Le deuxième fichier à traiter s'appelle (**Scopus. ris**) ; nous pouvons l'ouvrir avec le logiciel Publish or Perish de Harzing (version 8.0).

En 2006, Anne-Wil Harzing a fait développer le logiciel téléchargeable gratuitement

« Publish or Perish » qui récupère les données de Google Scholar (et d'autres bases de données) pour les analyser et calculer, outre des mesures élémentaires (nombre total de documents, de citations, nombre moyen de citations par article et par auteur, nombre d'auteurs par article), divers indicateurs :

- indice-h (h-index) identifie l'impact qualitatif et quantitatif d'un auteur ;
- indice-g (g-index) améliore l'indice-h en valorisant les articles les plus cités ;
- indice-h contemporain (contemporary h-index) améliore l'indice-h en valorisant les articles les plus récents et les auteurs les plus constants ;
- indice-h individuel (individual h-index) divise l'indice-h par le nombre moyen d'auteurs des articles contribuant à l'indice-h, pour réduire l'influence du phénomène des co-auteurs ;
- norme-hl (hl-norm), variante plus fine de l'indice-h individuel (GEDDA, 2018).

La figure **III.2** suivante donne un aperçu de la page d'accueil du logiciel « Publish or Perish » et le tableau **III.1** donne présente quelques indicateurs de citation générés par le logiciel Publish or Perish

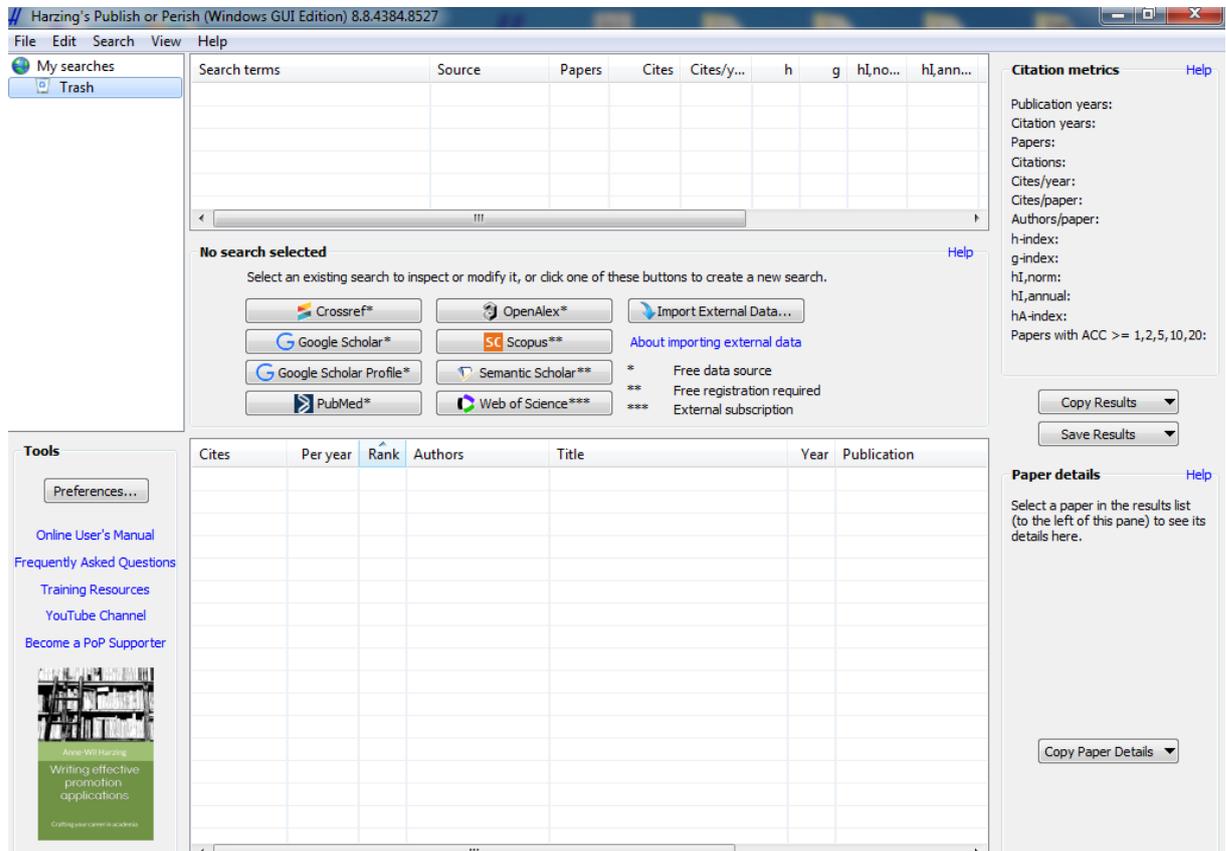


Figure III.2. Logiciel Publish or Perish de Harzing (version 8.0).

Tableau III.1 ; Quelques indicateurs de citation générés par le logiciel Publish or Perish

| Indicateur | Définition |
|---|--|
| Nombre total d'articles | Il s'agit simplement du nombre d'articles renvoyés par une base de donnée en réponse à une requête. |
| Nombre total de citations | La somme des citations compté pour tous les articles. |
| Nombre moyen de citations par article | La somme de citations compté pour tous les articles, divisée par le nombre total d'articles. La médiane et le mode sont également calculés. |
| Nombre de citations par auteur | Pour chaque article, son nombre de citations est divisé par le nombre d'auteurs de cet article pour donner le nombre de citations par auteur normalisé pour l'article. Le nombre de citations normalisées est ensuite additionné pour tous les articles pour donner le nombre de citations par auteur sur l'ensemble de résultats. |
| Nombre de citations par auteur et par an | Il s'agit du nombre de citations par auteur comme ci-dessus, divisé par le nombre d'années couvertes par l'ensemble de résultats. |
| Nombre d'articles par auteur | Pour chaque article, 1/nombre d'auteurs est calculé pour donner le nombre d'auteurs normalisé pour l'article. Le nombre d'auteurs normalisé est ensuite additionné pour tous les articles pour donner le nombre d'articles par auteur. |
| Nombre moyen d'auteurs par article | La somme des auteurs comptée pour tous les articles, divisée par le nombre total d'articles. La médiane et le mode sont également calculés. |

La **Figure III.3** donne les citations métriques générées par « Publish or Perish » ; nous pouvons remarquer que ces indices sont donnés pour l'ensemble du corpus, pour un auteur, pour une année... ; ces données peuvent être copiées ou enregistrés sous plusieurs formats.

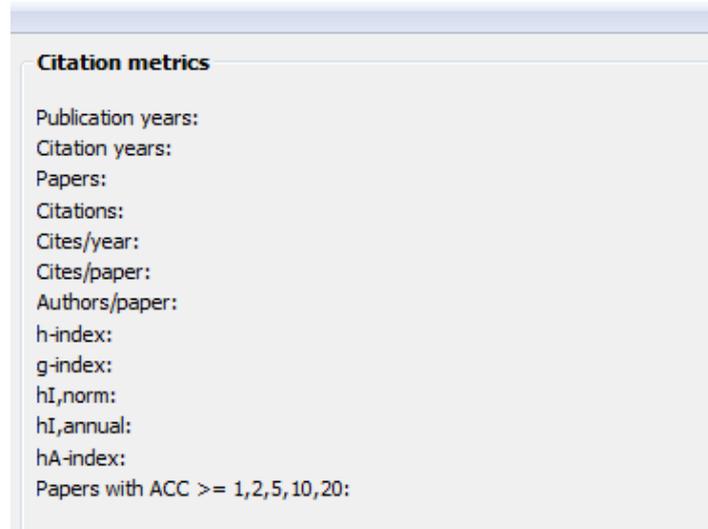


Figure III.3. Métriques de Citations générées par « Publish or Perish ».

Ces différentes métriques de citations peuvent être visualisées pour l'ensemble de la collection, pour un groupe d'auteurs, pour un seul article, pour une année...

III.6.3. Visualisation

Le troisième traitement consiste à étudier les informations se trouvant dans le deuxième fichier (sous forme **csv**).

Le deuxième fichier à traiter s'appelle (**Scopus.csv**) ; nous pouvons l'ouvrir avec le logiciel **VOSviewer (version 1.6.19)** (**VAN ECK et WALTMAN ,2023**).pour créer et visualiser des réseaux bibliométriques, analyser et décrire des mots-clés abstraits et des auteurs, ainsi que des relations et collaborations entre auteurs, pays et publications dans des corpus de données.

VOSviewer a été développé dans le langage de programmation Java. Comme Java est indépendant de la plate-forme, VOSviewer fonctionne sur la plupart des plates-formes matérielles et des systèmes d'exploitation. VOSviewer peut être téléchargé à partir de **www.vosviewer.com**. Il peut être utilisé librement dans n'importe quel but (**VAN ECK et WALTMAN ,2023**).

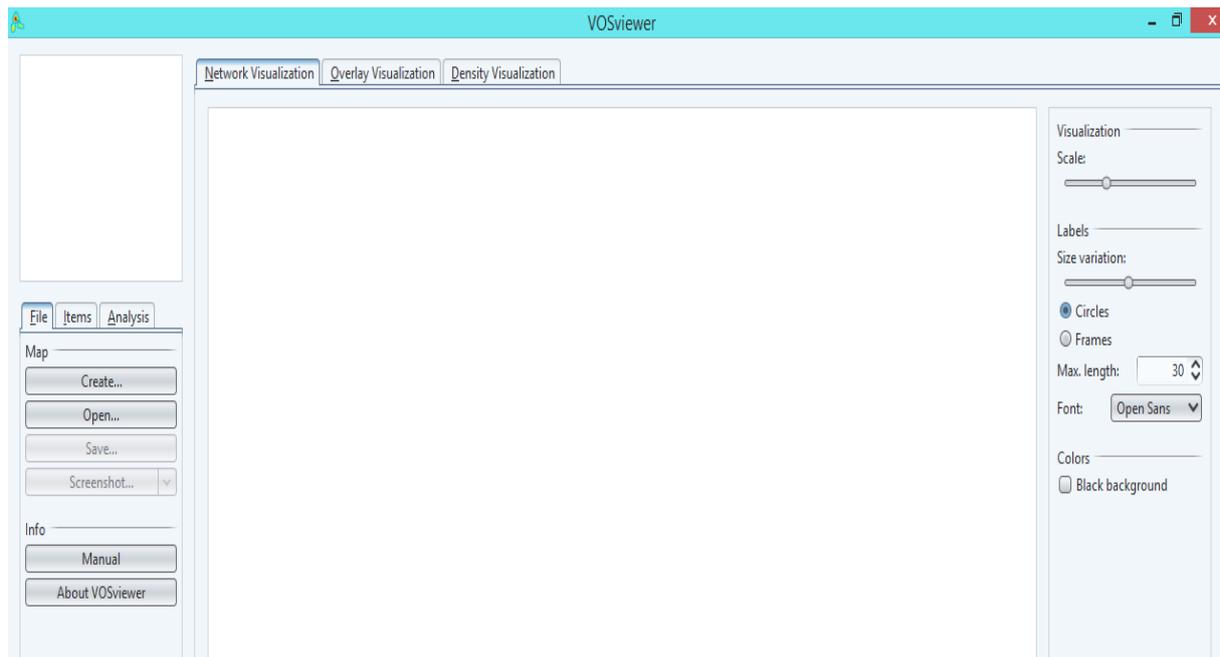


Figure III.4. L'interface du logiciel VOSviewer

VOSviewer est un logiciel outil permettant de créer des cartes basées sur des données de réseau, de les visualiser et de les explorer. Les fonctionnalités de VOSviewer peuvent être résumées comme suit :

- Création de cartes basées sur des données de réseau. Une carte peut être créée sur la base d'un réseau déjà disponible, mais il est également possible de construire d'abord un réseau. VOSviewer peut être utilisé pour construire des réseaux de publications scientifiques, revues scientifiques, chercheurs, organismes de recherche, pays, mots-clés ou termes. Les éléments de ces réseaux peuvent être reliés par des liens de co-auteur, de cooccurrence, de citation, de couplage bibliographique ou de co-citation. Pour construire un réseau, il faut des fichiers de bases de données bibliographiques (c'est-à-dire Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens et PubMed) et des fichiers de questionnaires de références (RIS, End Note et Ref Works) peuvent être fournis à VOSviewer. Autre possibilité, VOSviewer peut télécharger des données par l'intermédiaire d'une API (c'est-à-dire Crossref API, Open Alex API, Europe PMC API, et plusieurs autres).

- Visualisation et exploration de cartes. VOSviewer propose trois visualisations d'une carte: la visualisation du réseau, la visualisation de la superposition et la visualisation de la densité..

Les fonctions de zoom et de défilement permettent d'explorer une carte dans tous ses détails, ce qui est essentiel lorsque l'on travaille avec des cartes de grande taille contenant des informations sur la densité, ce qui est essentiel lorsque l'on travaille avec de grandes cartes contenant des milliers d'éléments. (VAN ECK *et* WALTMAN ,2023).

La fenêtre principale de VOSviewer est illustrée par la **Figure III.5**. Elle se compose des éléments suivants (cinq panneaux) :

- Panneau principal. Ce panneau présente une visualisation de la carte active. Les fonctions de zoom et de défilement peuvent être utilisées pour explorer la carte en détail.
- Panneau d'options. Ce panneau permet de modifier la visualisation de la carte active présentée dans le panneau principal.
- Panneau d'information. Ce panneau présente des descriptions des éléments de la carte active.
- Panneau de vue d'ensemble. Ce panneau présente une vue d'ensemble de la carte active. Un cadre rectangulaire indique la zone de la carte qui est affichée dans le panneau principal.
- Panneau d'action. Ce panneau peut être utilisé pour effectuer différents types d'actions, telles que la création d'une nouvelle carte, l'ouverture ou l'enregistrement d'une carte existante, la réalisation d'une capture d'écran et la mise à jour de la disposition ou du regroupement d'une carte (VAN ECK *et* WALTMAN ,2023).

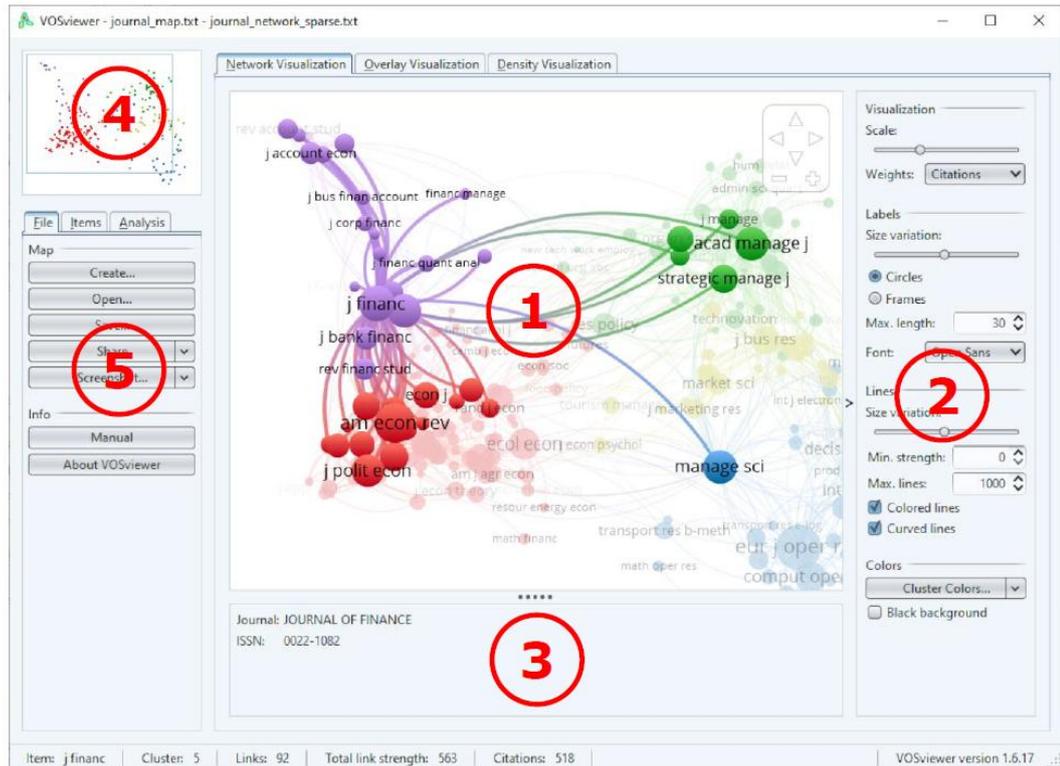


Figure III.5. Fenêtre principale de VOSviewer. Les chiffres désignent (1) le panneau principal, (2) le panneau des options, (3) le panneau d'information, (4) le panneau de présentation et (5) le panneau d'action. (VAN ECK et WALTMAN, 2023)

Pour créer des cartes à visualiser, basées sur les données bibliographiques extraites de Scopus, sur les différents types d'analyse, suivre les étapes suggérées par le logiciel et enregistrer les cartes avec leurs données (**Figure III.6**).

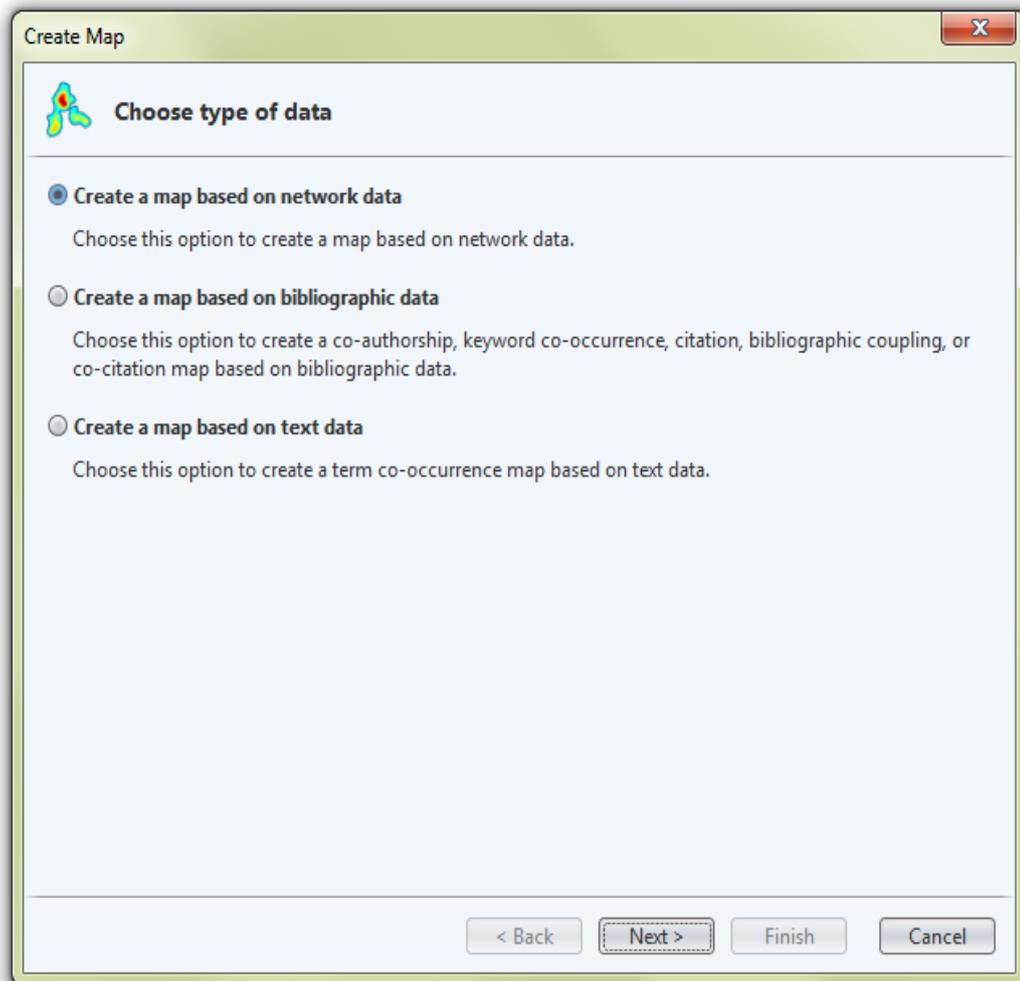


Figure III.6. Fenêtre de création de cartes de VOSviewer

(VAN ECK *et* WALTMAN ,2023)

III.6.4. Thermologie de Vosviewer

Les cartes créées, visualisées et explorées à l'aide de VOSviewer comprennent des éléments. Les éléments peuvent par exemple être des publications, des chercheurs ou des termes. Entre toute paire d'éléments, il peut y avoir un lien. Un lien est une connexion ou une relation entre deux éléments. Des exemples de liens sont les liens de couplage bibliographique entre les publications, les liens de coauteur entre les chercheurs et les liens de cooccurrence entre les termes. Une carte ne comprend normalement qu'un seul type de lien. De même, entre deux éléments, il ne peut y avoir plus d'un lien. Chaque lien a une force, représentée par une valeur numérique positive. Plus cette valeur est élevée, plus le lien est fort. La force d'un lien peut

par exemple indiquer le nombre de références citées que deux publications ont en commun (dans le cas de liens de couplage bibliographique), le nombre de publications deux chercheurs ont cosigné (dans le cas de liens de co-auteurs), ou le nombre de publications dans lesquelles deux termes apparaissent ensemble (dans le cas des liens de cooccurrence). Parfois, les liens entre les éléments ont tous une force de un. Dans ce cas, VOSviewer n'indique pas la force d'un lien. L'ensemble des éléments et des liens constituent un réseau. Un réseau est donc un ensemble d'éléments et de liens entre ces éléments. Les éléments peuvent être regroupés en grappes. Une grappe est un ensemble d'éléments inclus dans une carte (VAN ECK *et* WALTMAN ,2023).

Le tableau III.2 montre les principales options fournies par l'assistant de création de cartes pour créer une nouvelle carte.

Tableau III.2. Résumé des principales options fournies par l'assistant de création de cartes pour créer une nouvelle carte (VAN ECK *et* WALTMAN ,2023).

| Type de données | Source des données | Liens | Éléments |
|---------------------------------|---|--------------|--|
| Données du réseau | VOSviewer carte et fichiers réseau, fichiers JSON de VOSviewer les fichiers JSON, les fichiers GML et les fichiers fichiers Pajek | | |
| Données bibliographiques | Base de données bibliographiques fichiers Fichiers du gestionnaire de références APIs | Co-auteurs | Auteurs Organisations Pays d'origine |
| | | Cooccurrence | Mots clés |
| | | Citation | Documents Sources d'information Auteurs Organisations Pays |

| | | | |
|---------------------------|--|--------------------------|--|
| | | Couplage bibliographique | Documents Sources d'information Auteurs Organisations Pays |
| | | Co-citation | Références citées Sources citées Auteurs cités |
| Données textuelles | Fichiers VOSviewer Base de données bibliographiques fichiers Fichiers du gestionnaire de références API | Cooccurrence | Termes |

Nous avons fait le choix de travailler avec les différents types d'analyses figurant dans le tableau suivant (**voir le Tableau III. 3**).

Tableau III.3. Types d'analyses effectuées (VAN ECK et WALTMAN ,2023)

| Type de données | Source des données | Liens | Éléments |
|---------------------------------|--|--------------|----------------|
| Données bibliographiques | Base de données bibliographiques de Scopus | Co-auteurs | Auteurs |
| | | Cooccurrence | Mots clés |
| | | Citation | Pays |
| | | Co-citation | Sources citées |

Le tableau suivant (**Tableau. III.4**) résume quelques différentes méthodes bibliométrique couramment utilisées (**ŽUPIC et CATER, 2015**).

Tableau. III. 4 : Résumé des méthodes bibliométriques (ŽUPIC et CATER, 2015).

| Méthode | Description | Unités d'analyse | Avantages | Inconvénients |
|--------------------|--|-------------------------------|---|--|
| Citation | Estimation de l'influence de documents, auteurs ou journaux à travers le taux de citation. | Document Auteur Journal | Permet de retrouver rapidement les ouvrages importants dans le domaine. | Les publications plus récentes ont eu moins de temps pour être citées, donc le nombre de citations en tant que mesure de l'influence est biaisé en faveur des publications plus anciennes publications. |
| Co-citation | Connecte les documents, auteurs ou revues sur la base de collaborations apparitions dans listes de références. | Document Auteur Journal | C'est la méthode bibliométrique la plus utilisée et la plus validée. La connexion de documents, d'auteurs ou de revues avec co-citation s'est avérée fiable. Puisque la citation est une mesure d'influence, elle offre une méthode pour filtrer les œuvres les plus importantes. | La co-citation est effectuée sur les articles cités et n'est donc pas optimale pour cartographier les fronts de recherche. Les citations mettent du temps à s'accumuler, de sorte que les nouvelles publications ne peuvent pas être connectées directement mais uniquement via des clusters de bases de connaissances. Plusieurs citations sont nécessaires pour cartographier les articles, il est donc impossible de cartographier les articles qui ne sont pas beaucoup cités. Lors de l'analyse de co-citation d'auteur sur les données SSCI (WOS), seules les informations du premier auteur sont disponibles. |
| couplage | Connecte les documents, auteurs ou revues en fonction du nombre de références partagées. | Document Auteur Journal | Disponible immédiatement : ne nécessite pas d'accumulation de citations. Peut être utilisé pour de nouvelles publications qui ne sont pas encore citées, des domaines émergents et des sous-domaines plus petits. | Il ne peut être utilisé que pour une durée limitée (jusqu'à un intervalle de cinq ans). Il n'identifie pas intrinsèquement les œuvres les plus importantes en termes de nombre de citations comme étant une cocitation ; il est difficile de savoir si les publications cartographiées sont importantes ou non. |
| Coauteur | Connecte les auteurs lorsque ils sont co-auteurs du papier. | Auteur | Peut fournir des preuves de collaboration et produire la structure sociale du domaine. | La collaboration n'est pas toujours reconnue par le co-auteur. |

| | | | | |
|---------------|--|-----|---|--|
| Co-mot | Connecte les mots-clés lorsqu'ils apparaissent dans le même titre, résumé ou liste de mots clés. | Mot | Elle utilise le contenu réel des documents à des fins d'analyse (les autres méthodes n'utilisent que les métadonnées bibliographiques). | Les mots peuvent apparaître sous différentes formes et avoir des significations différentes. |
|---------------|--|-----|---|--|

III.7. Conclusion

Au cours de ce chapitre destiné au volet Matériel et Méthodes, nous avons effectué les tâches suivantes :

9. Le choix et l'identification du sujet de recherche à savoir les biosurfactants et leurs applications alimentaires,
10. Le choix de la base de données, en l'occurrence Scopus,
11. Equation ou regrette de recherche adoptée ; biosurfactant and food,
12. Raffinement de la recherche, en excluant tout type de documents, sauf les articles pour une période inférieure à 2023.
13. Téléchargement de deux fichiers de données, l'une sous forme csv: l'autre sous ris et csv (mêmes données),
14. Analyse statistique du fichier de données sous forme csv par MS Excel,
15. Analyse de performance, en important le fichier de données « scopus.ris » dans le logiciel Publish or Perish de Harzing (version 8), 1 pour calculer les métriques des citations,
16. Analyse des résultats de l'analyse cartographique et visualisation de la cartographie des données de publication à l'aide de l'application VOSviewer (version 1.6.19) en important le fichier « scopus.csv ». en suivant les instructions du logiciel.



CHAPITRE IV :

Résultats

Et

Discussion



IV.1. Introduction

Une analyse bibliométrique comporte en générale une étude statistique suivie d'une analyse de citation et de visualisation des données.

La première partie traite les données du fichier **Scopus_exported_refine_values.csv**, **la deuxième partie concerne** les données du fichier **Scopus.ris** et le dernier fichier **Scopus.csv** pour la visualisation des différentes citations.

Ce dernier chapitre présente les résultats et les discussions des points soumises à l'étude :

- Analyse disruptive simplifiée du corpus de données ;
- Analyse de performance par le logiciel PoP de Harzing ;
- Visualisation des données par le logiciel Vosviewer.

Une conclusion termine ce chapitre.

IV. 2. Analyse statistique des données

IV.2.1. Nombre total et tendance temporelle des publications

Les tableaux **IV.1**, et **IV.2** montrent l'évolution temporelle des publications pour la période : 1992-2022 pour la première recherche et pour la période : 2006-2022 pour la deuxième recherche.

Tableau IV.1. Évolution des publications pour la période : 1993-2022.

| Année | Documents | Pourcentage % | Pourcentage cumulé % |
|--------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1992 | 2 | 0,31 | 0,31 |
| 1993 | 1 | 0,16 | 0,47 |
| 1994 | 1 | 0,16 | 0,63 |
| 1995 | 1 | 0,16 | 0,78 |
| 1996 | 2 | 0,31 | 1,09 |
| 1997 | 2 | 0,31 | 1,41 |
| 1998 | 2 | 0,31 | 1,72 |
| 1999 | 3 | 0,47 | 2,19 |
| 2000 | 5 | 0,78 | 2,97 |
| 2001 | 5 | 0,78 | 3,75 |
| 2002 | 9 | 1,41 | 5,16 |
| 2003 | 2 | 0,31 | 5,47 |
| 2004 | 4 | 0,63 | 6,09 |
| 2005 | 8 | 1,25 | 7,34 |
| 2006 | 6 | 0,94 | 8,28 |
| 2007 | 8 | 1,25 | 9,53 |
| 2008 | 18 | 2,81 | 12,34 |
| 2009 | 14 | 2,19 | 14,53 |
| 2010 | 17 | 2,66 | 17,19 |
| 2011 | 19 | 2,97 | 20,16 |
| 2012 | 15 | 2,34 | 22,50 |
| 2013 | 22 | 3,44 | 25,94 |
| 2014 | 27 | 4,22 | 30,16 |
| 2015 | 24 | 3,75 | 33,91 |
| 2016 | 39 | 6,09 | 40,00 |
| 2017 | 33 | 5,16 | 45,16 |
| 2018 | 44 | 6,88 | 52,03 |
| 2019 | 51 | 7,97 | 60,00 |
| 2020 | 58 | 9,06 | 69,06 |

| | | | |
|--------------|-----|-------|-------|
| 2021 | 77 | 12,03 | 81,09 |
| 2022 | 121 | 18,91 | 100 |
| Total | 640 | 100% | - |

Tableau IV.2. Évolution des publications pour la période : 2006-2022 (Articles).

| Année | Documents | Pourcentage% | Pourcentage cumulé % |
|--------------|-----------|--------------|----------------------|
| 2006 | 1 | 3,33 | 3,33 |
| 2012 | 1 | 3,33 | 6,67 |
| 2015 | 1 | 3,33 | 10,00 |
| 2016 | 2 | 6,67 | 16,67 |
| 2017 | 3 | 10,00 | 26,67 |
| 2018 | 1 | 3,33 | 30,00 |
| 2019 | 3 | 10,00 | 40,00 |
| 2020 | 8 | 26,67 | 66,67 |
| 2021 | 5 | 16,67 | 83,33 |
| 2022 | 5 | 16,67 | 100 |
| Total | 30 | 100 | - |

Au total, 640 documents sur les biosurfactants, incluant l'utilisation des déchets et sous-produits alimentaires comme substrats et les applications alimentaires, ont été publiés de 1992 à 2022, parmi ces 640 documents seulement 30 articles traitent des applications pratiques des biosurfactants dans le domaine alimentaire.

Nous pouvons remarquer que pour les deux périodes, il y a une évolution croissante de publications dans cet axe de recherche

IV.2.2. Types des Documents

La figure suivante (**Figure IV.1**) représente les pourcentages des différents types de documents, nous pouvons constater que les documents sous forme d'articles représentent 63.44% de la totalité de la collection (406) ; par contre les articles review et les chapitre des livres représentent respectivement 19.38% (124) et 10.78% (69), et l'ensemble restant de la collection ne représente guère que 6.4% (41).

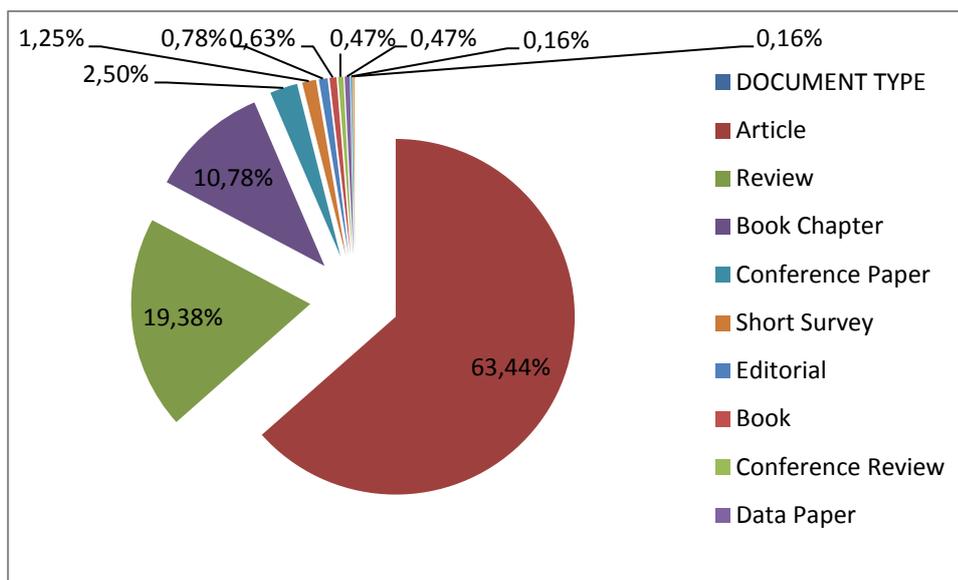


Figure IV.1 Types de documents (640 documents)

IV.2.3. Langue des documents

La figure IV.2 montre le pourcentage et l'effectif des différentes langues du corpus obtenu.

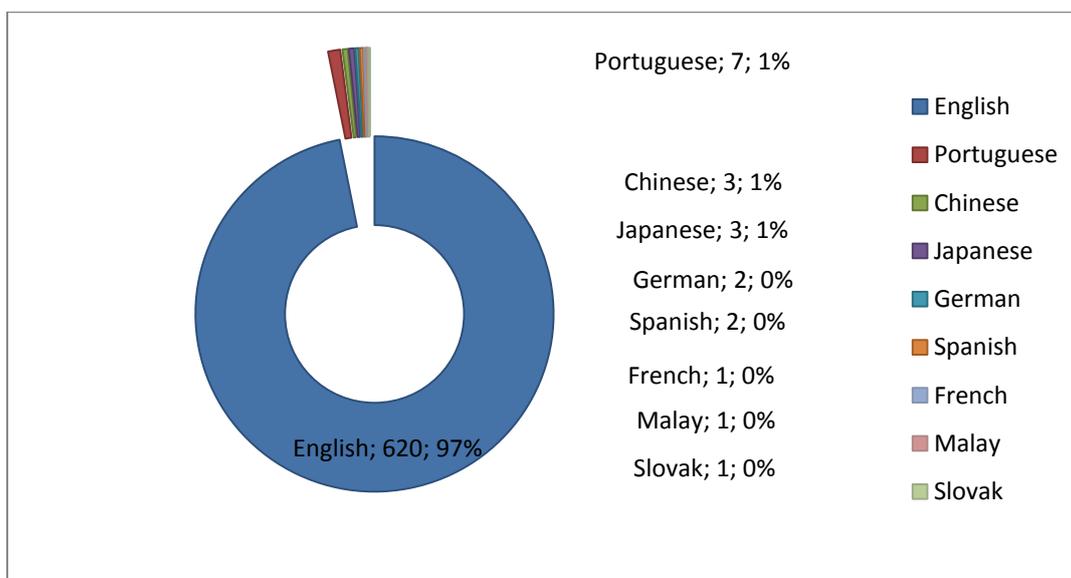


Figure IV.2 Langues des documents (640)

Nous pouvons affirmer aisément que la langue anglaise est de loin la plus utilisée ; elle représente 97% de la totalité des langues employées pour la première collection de données (640 documents), pour la deuxième collection (30 articles), les articles sont exclusivement en anglais.

IV.2.4. Le top des 10 journaux les plus actifs

Le top des 10 journaux les plus actifs dans le domaine des biosurfactants se trouve mentionné dans le tableau suivant.

Tableau IV.3 Le top des 10 journaux les plus actifs (640 actifs)

| Classement | Titre de la Source (Revue) | Nombre | % | Editeur |
|------------|---|--------|------|---|
| 1 | Bioresource Technology | 20 | 4,37 | Elsevier Ltd |
| 2 | Applied Microbiology And Biotechnology | 19 | 4,15 | Springer Verlag |
| 3 | Frontiers In Microbiology | 18 | 3,93 | Frontiers Media S.A. |
| 4 | Applications Of Next Generation Biosurfactants In The Food Sector | 15 | 3,28 | Elsevier |
| 5 | Chemical Engineering Transactions | 12 | 2,62 | Italian Association of Chemical Engineering – AIDIC |
| 6 | International Journal Of Molecular Sciences | 12 | 2,62 | MDPI AG |
| 7 | Applied Biochemistry And Biotechnology | 10 | 2,18 | Springer |
| 8 | Current Opinion In Colloid And Interface Science | 7 | 1,53 | Elsevier Ltd |
| 9 | Journal Of Applied Microbiology | 7 | 1,53 | John Wiley and Sons Inc |
| 10 | Journal Of The Science Of Food And Agriculture | 7 | 1,53 | John Wiley and Sons Ltd |

Selon ces résultats, un total de 551 articles a été publié dans 160 revues. Les trois meilleures revues ont contribué ensemble à la publication de 57 articles, avec un pourcentage de l'ordre de 45% (44,88%) sur un total de 127 articles (dix revus). Bioresource Technology, Applied Microbiology And Biotechnology et Frontiers In Microbiology occupent les trois premières places.

IV.2.5. Le top des institutions les plus actives (10 et plus)

Les résultats des organisations les plus prolifiques dans ce domaine de recherche sont représentées dans la **Figure IV.3**.

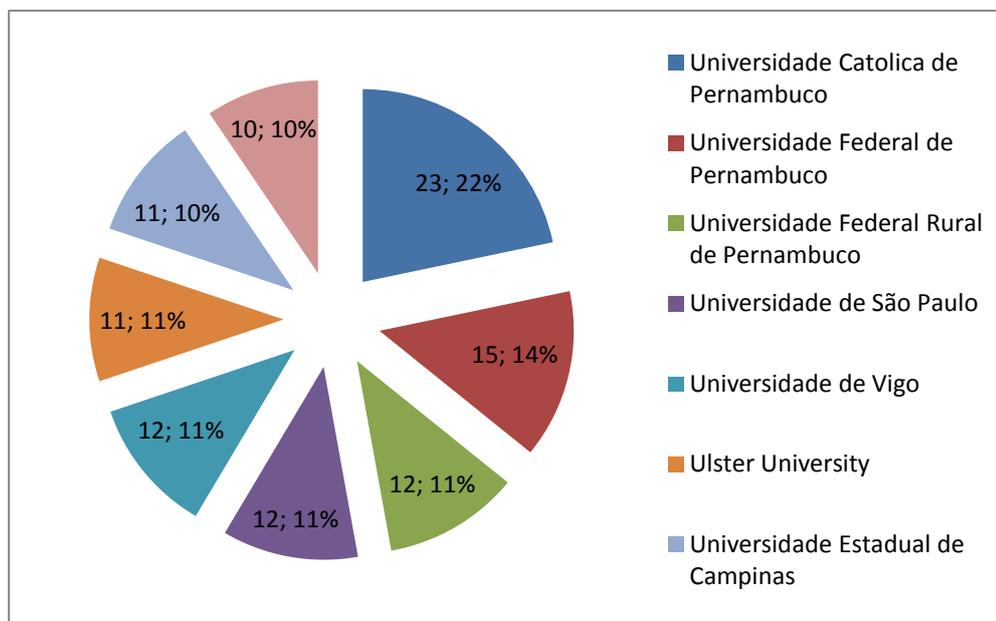


Figure IV.3 Le top des institutions les plus actives (10 et plus)

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons constater que l'Universidade de Catolica de Pernambuco (Brésil) a publié 23 documents, avec une contribution de l'ordre 22% suivi de l'Universidade Federal de Pernambuco (Brésil) qui a publié 15 documents, avec une contribution de l'ordre 14%.

IV.2.6. Distribution de documents dans les 20 premiers pays.

Le tableau **IV.4** représente la distribution de documents dans les 20 premiers pays.

La contribution des différents pays/territoires peut être identifiée avec les auteurs. Les résultats obtenus à partir de Scopus concernant la contribution des pays sont représentés dans le Tableau 3. Parmi les vingt premiers pays, L'Inde arrive en tête avec le classement le plus

élevé avec une contribution de 170 documents (26,56%), suivis du Brésil avec 79 documents (12,34%) et de la Chine avec 61 documents (9,53%).

Tableau IV.4 Distribution de documents dans les 20 premiers

| Rang | Pays | Nombre | Rang | Pays | Nombre |
|------|----------------|--------|------|-------------|--------|
| 1. | India | 170 | 11. | Canada | 19 |
| 2. | Brazil | 79 | 12. | Germany | 19 |
| 3. | China | 61 | 13. | France | 16 |
| 4. | Iran | 47 | 14. | Nigeria | 16 |
| 5. | United States | 44 | 15. | Belgium | 14 |
| 6. | United Kingdom | 35 | 16. | Thailand | 14 |
| 7. | Spain | 28 | 17. | Portugal | 13 |
| 8. | Malaysia | 26 | 18. | South Korea | 13 |
| 9. | Japan | 24 | 19. | Poland | 12 |
| 10. | Italy | 20 | 20. | Turkey | 11 |

IV.2.7. Les Auteurs les plus prolifiques

Les résultats obtenus pour les 12 meilleurs auteurs de Scopus sont fournis par la **Figure IV.4** : nous pouvons relever que **Sarubbo, L.A., Banat, I.M et Rufino, R.D** ont respectivement publié 24, 12 et 10 documents. Les autres auteurs ont des contributions inférieures à 10.

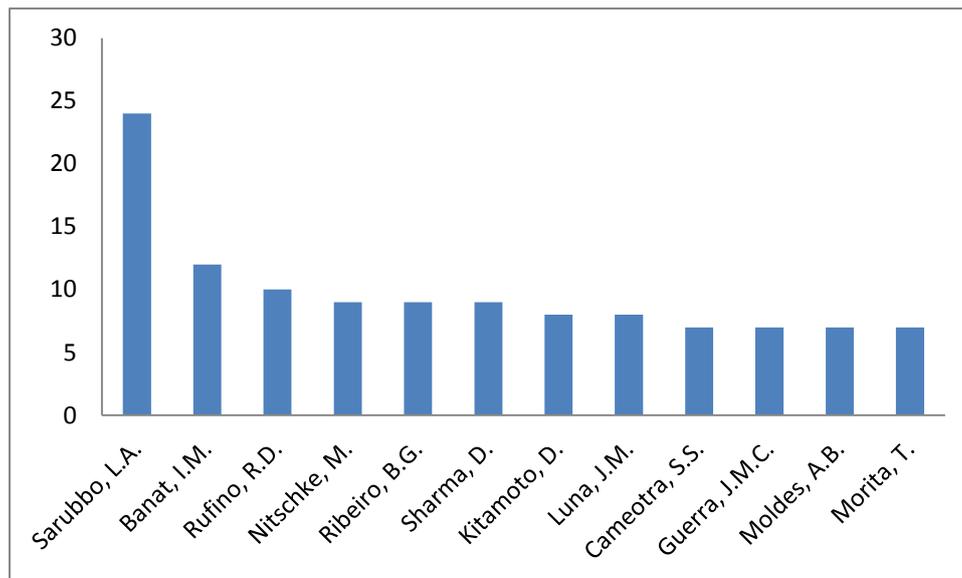


Figure IV.4 Les Auteurs les plus prolifiques

IV.3.Evaluation des impacts et performance

Après avoir importé le deuxième fichier scopus.ris dans le logiciel Publish or Perish (version 8.0) de Harzing, nous obtenons automatiquement les métriques des citations (**voir la Figure IV.5**).

The screenshot shows the 'Harzing's Publish or Perish (Windows GUI Edition) 8.8.4275.8412' window. The 'Imported external data' section shows the file 'scopus(10).ris [2023-08-07 00:46:27]' imported from 'RIS/RefManager'. The main table lists 25 search results. The 'Citation metrics' panel on the right shows: Publication years: 1992-2022; Citation years: 31 (1992-2023); Papers: 640; Citations: 30311; Cites/year: 977.77; Cites/paper: 47.36; Authors/paper: 4.57; h-index: 86; g-index: 155; h1,norm: 51; h1,annual: 1.65; hA-index: 30; Papers with ACC >= 1,2,5,10,20: 497,405,248,134,52. The 'Paper details' section is currently empty.

| Cites | Per year | Rank | Authors | Title | Year | Publication | Publisher | Type |
|-------|----------|------|-------------------------------|---------------------------------------|------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 1 | 1.00 | 1 | B.M. Karamchandani, ... | Biosurfactantsâ€™ multifarious f... | 2022 | Frontiers in Bioengineerin... | Frontiers Media S.A. | Review |
| 4 | 4.00 | 2 | E.K. Sarkodie, L. Jiang, ... | A review on the bioleaching of t... | 2022 | Frontiers in Microbiology | Frontiers Media S.A. | Review |
| 0 | 0.00 | 3 | E.S. Lakatos, L.I. Cioca, ... | A Systematic Review on Biosurfa... | 2022 | Processes | MDPI | Review |
| 0 | 0.00 | 4 | L. Nageshwar, J. Para... | Anti-oxidative property of xylolip... | 2022 | Brazilian Journal of Microb... | Institute for Ionics | Article |
| 1 | 1.00 | 5 | C.N. Haidar, F. Malizia... | Application of residual cooking ... | 2022 | Bioresource Technology R... | Elsevier Ltd | Article |
| 2 | 2.00 | 6 | T. Subsanguan, N. Kh... | Formulation of a glycolipidlipop... | 2022 | Scientific Reports | Nature Research | Article |
| 1 | 1.00 | 7 | S.K. Behera, M. Moha... | Exploring the interaction of dieta... | 2022 | Colloid and Polymer Scien... | Springer Science and Business ... | Article |
| 4 | 4.00 | 8 | W.A. Wicaksono, A. B... | Modulation of the food microbi... | 2022 | Food Microbiology | Academic Press | Article |
| 2 | 2.00 | 9 | G.F. Silva, A. Gautam, I... | Interactive analysis of biosurfact... | 2022 | Scientific Reports | Nature Research | Article |
| 1 | 14.00 | 10 | S.S. Barale, S.G. Ghane... | Purification and characterization... | 2022 | AMB Express | Springer Science and Business ... | Article |
| 4 | 4.00 | 11 | M.H. Heidarzadeh, H. ... | Accurate investigation of the me... | 2022 | Journal of Environmental ... | Academic Press | Article |
| 2 | 2.00 | 12 | M. Karami, A.R. Faraji, ... | Synthesis and characterization of... | 2022 | RSC Advances | Royal Society of Chemistry | Article |
| 1 | 1.00 | 13 | K. Kannan, S. Pitchiah... | Marine Archaeal Extracellular Pol... | 2022 | Journal of Marine Science ... | MDPI | Article |
| 1 | 1.00 | 14 | B. PÃ©rez-Cid, L. Rod... | Effect of a Multifunctional Biosu... | 2022 | Foods | MDPI | Article |
| 0 | 0.00 | 15 | R. Anulkar, S. Chavan... | Cytotoxicity of di-rhamnolipids ... | 2022 | 3 Biotech | Springer Science and Business ... | Article |
| 1 | 11.00 | 16 | C.L. Mgbechidinma, ... | Integration of green economy c... | 2022 | Bioresource Technology | Elsevier Ltd | Article |
| 0 | 0.00 | 17 | M.M. Gutierrez, M.V. ... | Investigating a microbial approa... | 2022 | Frontiers in Sustainable Fo... | Frontiers Media S.A. | Article |
| 0 | 0.00 | 18 | | Innovations and Researchin Mari... | 2022 | 2021 International Confere... | American Institute of Physics I... | Conference P... |
| 2 | 2.00 | 19 | P. Vit | A HONEY AUTHENTICITY TEST ... | 2022 | Interciencia | Interciencia Association | Article |
| 0 | 0.00 | 20 | J.-S. Kim, D.-W. Ki, I.-K... | Two Novel Biosurfactants Produ... | 2022 | Journal of Antibiotics | Springer Nature | Article |
| 1 | 1.00 | 21 | Y. Chen, S. Hao, H.Z. ... | Interactional, functional, and bio... | 2022 | Luminescence | John Wiley and Sons Ltd | Article |
| 1 | 1.00 | 22 | P. Kopalle, S.A. Potha... | Structural and physicochemical ... | 2022 | Chemical Data Collections | Elsevier B.V. | Data Paper |
| 0 | 0.00 | 23 | N. Rawat, A.K. Bhonsl... | Synthesis and Characterization o... | 2022 | ChemistrySelect | John Wiley and Sons Inc | Article |
| 0 | 0.00 | 24 | A. Behzadnia, M. Moo... | Production of an ultrasound-assi... | 2022 | Frontiers in Nutrition | Frontiers Media S.A. | Article |
| 0 | 0.00 | 25 | K. Khalil, W.S. Aqma, ... | Bioremediation Potential of Poly... | 2022 | Sains Malaysiana | Penerbit Universiti Kebangsaan... | Article |

Figure IV.5 Importation du fichier scopus.ris dans le logiciel Publish or Perish (version 8.0) de Harzing

IV.3.1. Métriques des citations

D'après les résultats affichés, nous pouvons dresser le tableau suivant.

Tableau IV.5 Métriques des Citations

| Métrique des citations | Résultat | Résultat |
|-------------------------|---------------|----------------|
| Années des publications | 1992-2022 | 2006-2022 |
| Citation des années | 31(1992-2022) | 17 (2006-2022) |
| Documents | 640 | 30 |
| Citations | 30311 | 810 |
| Citation/Année | 977.77 | 47.65 |
| Citation /Document | 47.36 | 27.00 |
| Auteurs/Document | 4.57 | 5.70 |
| h-index | 86 | 16 |
| g-index | 155 | 28 |

Le tableau **IV.5** illustre le résumé des mesures de citation. D'après les données indexée dans Scopus, il montre que les documents liés au biosurfactants ont été publiés depuis 1992, et pour les applications alimentaires, à partir 2006 ; et que les deux sujets étudiés ont été cités au cours des 31 et 17 dernières années respectivement pour le 1^o et le 2^o thème. Au total 640 et 30 documents ont été publiés, avec une citation totale de 30311 et 810. Le tableau métrique indique également des informations sur les citations moyennes par an et des informations sur les auteurs par article et les index h et g.

L'indic h, défini par son concepteur, (**HIRSCH, 2005**). :

Un scientifique a un indice h si h de ses N_p articles ont au moins h citations chacun et les articles autres ($N_p - h$) ont $\leq h$ citations (**HIRSCH, 2005**).

L'indice g a été introduit en 2006 par (**EGGHE, 2006**) : Le g-index d'un auteur est g « si g est le rang le plus élevé telle que les g meilleurs articles aient, ensemble, au moins g^2 citations ».

IV.4. Visualisation

VOSviewer peut être utilisé pour construire des réseaux de publications scientifiques, revues scientifiques, chercheurs, organismes de recherche, pays, mots-clés ou termes. Les éléments de ces réseaux peuvent être reliés par des liens de co-auteur, de cooccurrence, de citation, de couplage bibliographique ou de co-citation. Pour construire un réseau, il faut des fichiers de bases de données bibliographiques (par exemple Scopus) (**VAN ECK et WALTMAN ,2023**).

Après avoir importé le deuxième fichier scopus.csv dans le logiciel VOSviewer, nous avons effectué les types d'analyses choisis (**voir la Tableau III.3**). La dimension de la bulle ou du rectangle représente le nombre de citations normalisées reçues par les articles (documents) ; et leurs couleurs (des bulles ou des rectangles) indiquent le cluster auquel appartient le document, et l'épaisseur des lignes indique la force des relations de citation. Le lien et la distance entre deux publications (documents) montrent la force de la relation.

IV.4.1. Analyse par cocitation – revues scientifiques (Sources) (30)

Cette analyse par cocitation pour les sources a pour vocation d'établir les relations entre les revues scientifiques par le biais des citations à l'intérieur de notre échantillon de données. Sur 819 sources le nombre minimal de citations est fixé à 7 et 21 journaux ont atteint ce seuil ; après une série de tests avec différents seuils. Les résultats sont présentés dans le **Tableau IV.6 et les Figures. IV.6 et IV.7**.

Les deux figures (**Figures. IV.6 et Figure. IV.7**) représentent respectivement la visualisation du réseau et la visualisation de la densité pour la cocitation selon les revues scientifiques.

L'analyse de co-citation se produit lorsque les mêmes articles sont co-cités par plusieurs autres articles, ce qui nous permet de supposer qu'ils sont liés de manière significative. La taille du nœud indique la fréquence de la revue et le nombre d'articles publiés ; la distance entre deux nœuds reflète la proximité de la relation des journaux, plus deux revues sont proches, plus la fréquence de co-citation est élevée. (**MOUNAIM et al., 2022**).

La **Figures. IV.6 et le tableau IV.6** montrent l'existence de cinq clusters et chaque cluster représente un axe ou thème de recherche plus ou moins homogène ; le cluster 1^e

contient cinq revues, le 2^e, quatre, le 3^e quatre, le 3^e, 4^e et le 5^e cluster en contiennent 2 chacun ; le premier groupe possède le plus grand nombre de cocitation, 83 au total, suivi du deuxième, avec 41, le 3^e, 28, le 4^e, 23 et le dernier groupe, le 5^e en possède 40 citations au total.

Nous pouvons constater que le journal **Frontiers in Microbiology**, a plus de liens avec les autres revues (166 liens), en d’autres termes, il a la plus grande co-citation, ce qui explique qu’il se trouve au centre, et les autres sont situées en périphérie.

D’autre part, le journal **Food Packaging and Shelf Life**, a seulement deux liens avec les autres sources ; il se trouve donc en périphérie de la visualisation.

La visualisation de densité (**Figures. IV.7**), nous montre la charge ou l’importance de chaque revue du point de vue citation ; les sources les plus citées sont plus claires et visibles, et les autres de moins en moins, d’autre part les sources **Frontiers in Microbiology**, **Bioresour. Technol**, **Appl. Environ. Microbiol** et **Food Hydrocoll** ont respectivement : 166, 154 , 104 et 105 comme force totale de liens, c’est pour cette raison qu’elles sont plus visibles et plus denses que les autres revues de moindre force totale de liens.

Tableau IV.6 Analyse par cocitation selon les revues scientifiques (30)

| Label | cluster | weight<Links> | weight<Total link strength> | weight<Citations> |
|---------------------------------------|---------|---------------|-----------------------------|-------------------|
| Frontiers In Microbiology | 1 | 10 | 166 | 30 |
| Bioresour. Technol. | 1 | 10 | 154 | 25 |
| Process Biochem | 1 | 8 | 87 | 12 |
| Colloids Surf. B Biointerfaces | 1 | 10 | 56 | 9 |
| Int. J. Mol. Sci | 1 | 6 | 55 | 7 |
| Food Control | 2 | 13 | 76 | 13 |
| Cereal Chem. | 2 | 2 | 33 | 11 |
| Food Packaging And Shelf Life | 2 | 2 | 30 | 10 |
| Int. J. Food Microbiol. | 2 | 7 | 58 | 7 |
| Appl. Environ. Microbiol. | 3 | 7 | 104 | 16 |
| Appl. Microbiol. Biotechnol. | 3 | 6 | 88 | 12 |
| Food Hydrocoll | 4 | 10 | 105 | 16 |

| | | | | |
|------------------------------------|---|----|-----|----|
| Biocatal Agric Biotechnol | 4 | 5 | 49 | 7 |
| Food Chemistry | 5 | 10 | 121 | 33 |
| Food Research International | 5 | 2 | 38 | 7 |

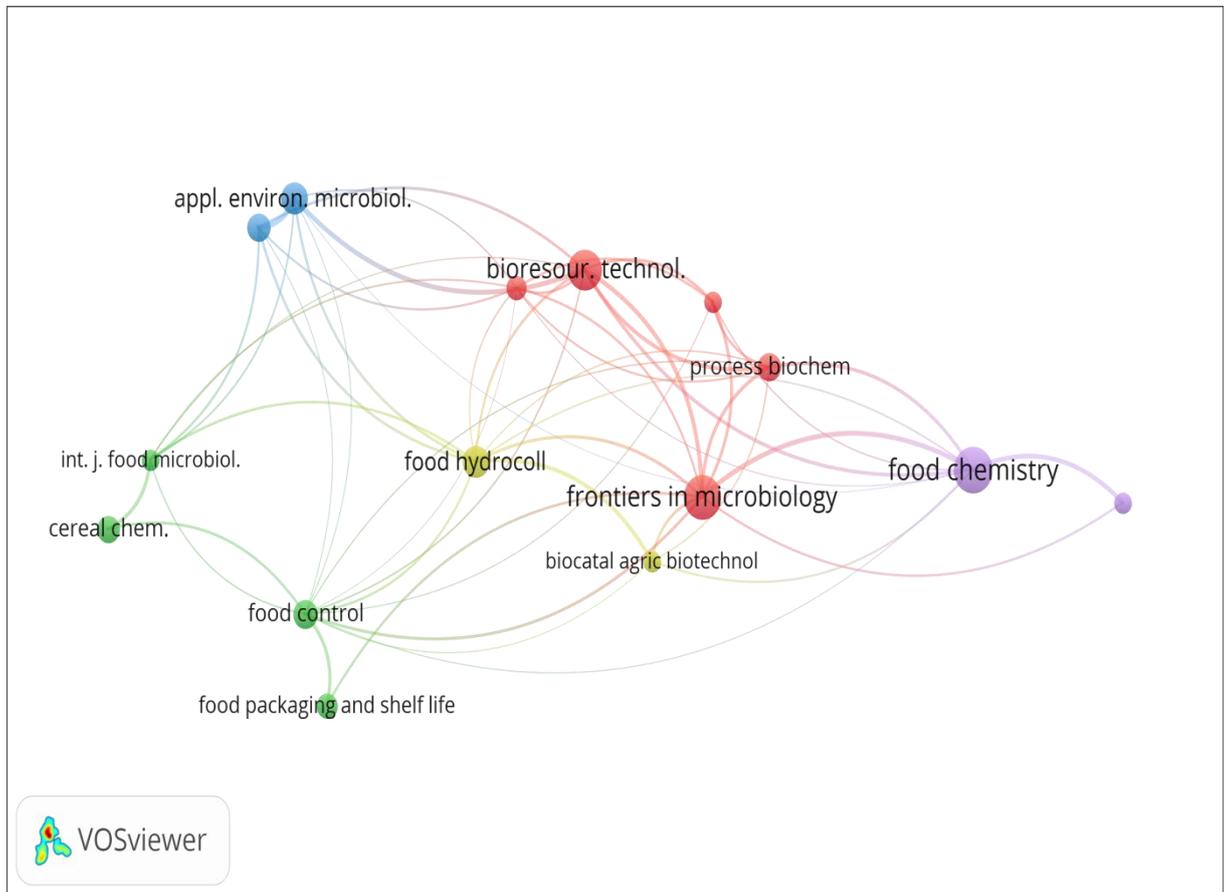


Figure IV.6. Visualisation de l'analyse par cocitation selon les revues scientifiques (visualisation en réseau)

Légende des grappes : rouge = 1, vert = 2, bleu = 3, jaune = 4, mauve = 5 (30)

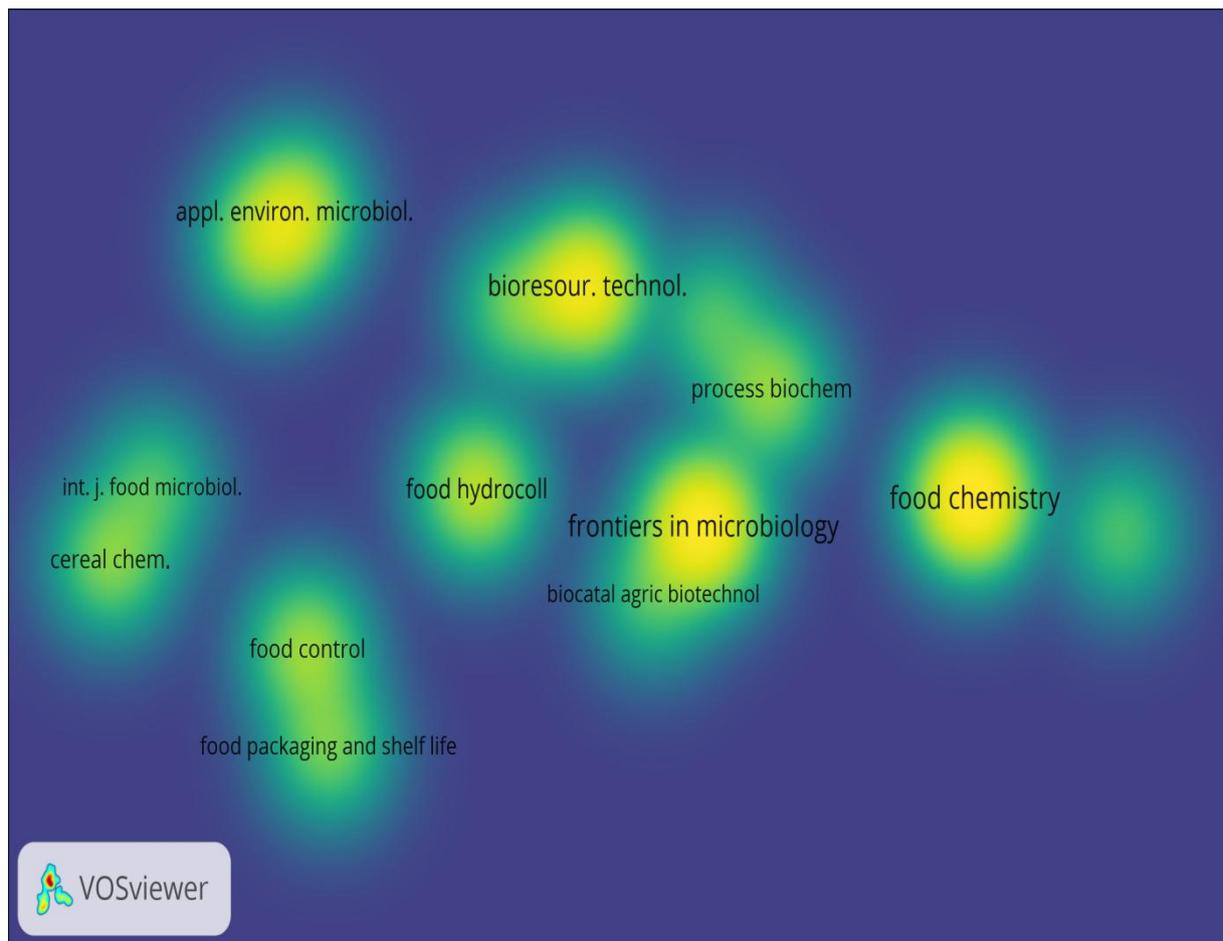


Figure IV.7 Visualisation de l'analyse par cocitation selon les revues scientifiques (visualisation de densité) (30)

Légende des grappes : rouge = 1, vert = 2, bleu = 3, jaune = 4, move = 5 (30)

IV.4.2. Visualisation et analyse de Co-auteurs selon les Auteurs

L'analyse des co-auteurs examine les réseaux sociaux que les scientifiques créent en collaborant à des articles scientifiques. Une relation entre deux auteurs s'établit lorsqu'ils coéditent un article (ŽUPIC et CATER, 2015).

Pour la sélection des données et les seuils, le nombre minimum de documents d'un auteur est de 2, et son nombre minimum de citations est de 1 ; sur 133 auteurs, le seuil est atteint pour 20 auteurs, Le réseau de co-auteurs de 20 des 133 auteurs qui répondent aux critères est illustré dans les figures IV.8, IV.9, et IV.10 où chaque nœud représente un auteur

individuel et les lignes et les espaces entre eux signifient les liens des auteurs. Lorsque deux nœuds sont plus proches l'un de l'autre, ils sont plus susceptibles d'avoir une relation forte puisque la distance entre eux reflète la force de l'association. (EL OUIDANI, 2023).

Les nœuds plus grands signifient les auteurs qui sont plus fortement pondérés en termes de publications et de citations. Un lien est une connexion ou une relation entre deux éléments, et dans une représentation cartographique, un lien est représenté par une ligne plus épaisse plus la connexion est grande entre les deux éléments. (EL OUIDANI, 2023)

Les connexions de la **figure IV.8**, indiquent les affiliations des co-auteurs. Chaque lien a une force qui indique le nombre d'articles coécrits par deux chercheurs (VAN ECK, 2019). Le lien total d'un nœud est la somme de ses forces de lien sur tous les autres nœuds, et la force de lien peut être utilisée comme un indice quantitatif pour représenter la relation entre deux éléments (PINTO, 2014). (EL OUIDANI, 2023)

Comme le montre la **figure IV.8 et le tableau IV.7**, il y a trois clusters représentés par trois couleurs :

Le premier (rouge) comporte cinq auteurs : Campos J.M., De Luna J.M., Rufino R.D., Sarubbo L.A. et Stamford T.L.M., le deuxième comporte (vert) trois auteurs : Aguiar J.S., Durval I.J.B. et Ribeiro B.G., et le troisième comporte (bleu) trois auteurs : Guerra J.M.C., Meira H.M. et Pinto M.I.S.

D'après le **Tableau IV.7**, le premier groupe est représenté par Sarubbo L.A, avec dix liens (force totale des liens de 28), 9 documents et de 204 citations ; le deuxième groupe est représenté par Ribeiro B.G, avec huit liens (force totale des liens de 15), 5 documents et de 135 citations et le dernier et troisième groupe est représenté par Guerra J.M.C., avec six liens (force totale des liens de 14), 4 documents et de 67 citations.

Nous pouvons remarquer que chaque cluster forme une entité de recherche plus au moins homogène, nous pouvons constater que les nœuds ont des poids de citation différents parmi les auteurs, ce qui implique que les auteurs partagent la force totale du lien de manière inégale. On note que Sarubbo L.A représente le nœud avec le poids le plus élevé (situé au centre de la visualisation), suivi de Ribeiro B.G. et de Guerra J.M.C. De plus, la figure montre des liens de collaboration importants entre la quasi-totalité des auteurs représentés.

La **figure IV.9** montre un autre type de visualisation, visualisation de superposition, la visualisation de superposition est identique à la visualisation de réseau sauf que les éléments sont colorés différemment. Il existe deux manières de colorer les éléments dans la visualisation en superposition. Si les éléments ont des scores (Un attribut de score peut indiquer n'importe quelle propriété numérique des éléments), la couleur d'un élément est déterminée par le score de l'élément, où par défaut les couleurs vont du bleu (score le plus bas) à vert à jaune (score le plus élevé), ou défini par l'utilisateur (**VAN ECK et WALTMAN, 2023**).

Le nœud coloré indique l'année de publication de l'article contenant le nom de l'auteur. Différentes couleurs sont appliquées pour chaque auteur en fonction de la moyenne d'apparition par année de leurs articles, Les couleurs bleues indiquent des sujets de recherche antérieurs, tandis que les couleurs jaunes et vertes indiquent des sujets d'intérêt plus récents.

La couleur de chaque cercle correspond à l'année de publication moyenne, la taille d'un cercle est proportionnelle au nombre de littératures et l'épaisseur de la ligne de connexion indique la fréquence de coopération.

Dans la **figure IV.10** (visualisation en densité pour les auteurs), si la couleur du nœud apparaît plus foncée ou plus dense, alors l'auteur en question a plus de liens avec les autres auteurs ; dans notre cas c'est Sarubbo qui arrive en tête.

Tableau IV.7 Résultats de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (30)

| Label | Cluste r | Weight <Links > | Weight <Total link strength> | Weight <Documents > | Weight <Citations> | Score <Avg. citations> |
|--------------------|-------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Sarubbo L.A. | 1 | 10 | 28 | 9 | 204 | 22.67 |
| De Luna J.M. | 1 | 10 | 14 | 4 | 68 | 17 |
| Rufino R.D. | 1 | 7 | 8 | 2 | 52 | 26 |
| Campos J.M. | 1 | 4 | 6 | 2 | 67 | 33.5 |
| Stamford T.L.M. | 1 | 4 | 6 | 2 | 67 | 33.5 |
| Ribeiro B.G. | 2 | 8 | 15 | 5 | 135 | 27 |
| Durval I.J.B. | 2 | 8 | 12 | 3 | 28 | 9.33 |
| Aguiar J.S. | 2 | 5 | 7 | 2 | 40 | 20 |
| Guerra | 3 | 6 | 14 | 4 | 67 | 16.75 |

| J.M.C. | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|----|-----|
| Meira H.M. | 3 | 6 | 9 | 2 | 15 | 7.5 |
| Pinto M.I.S. | 3 | 6 | 9 | 2 | 15 | 7.5 |

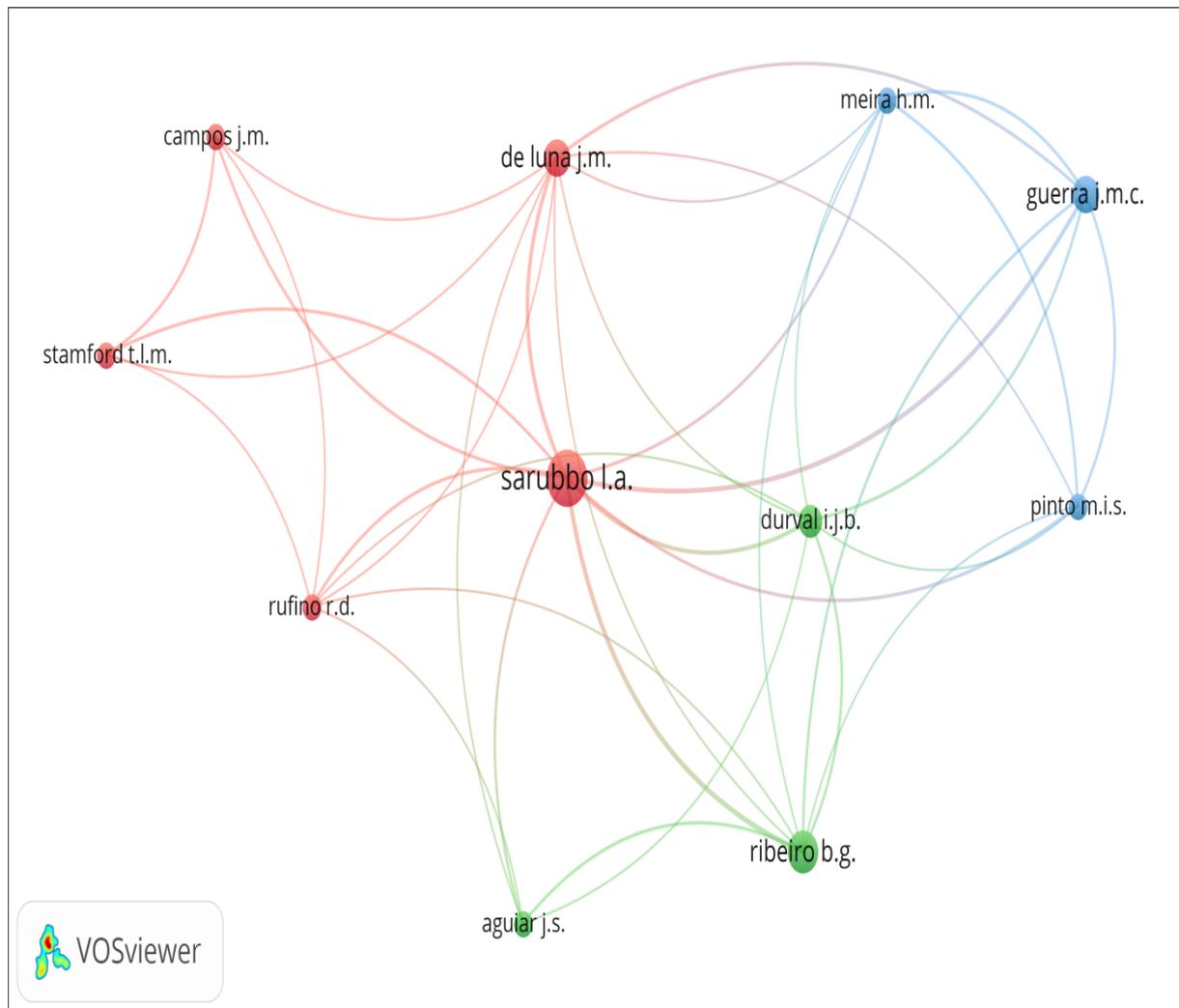


Figure IV.8 Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en réseau) (30)

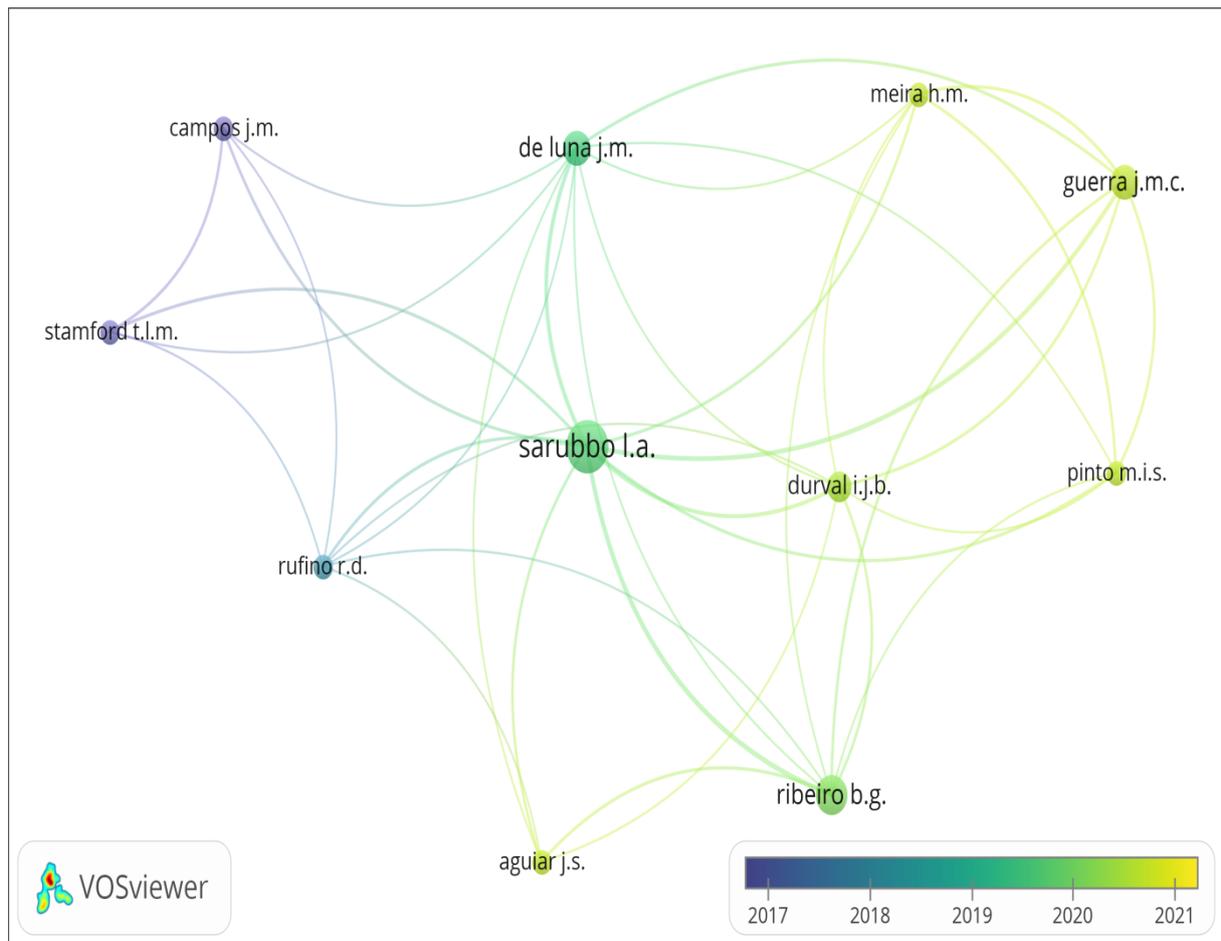


Figure IV.9 Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en superposition) (30)

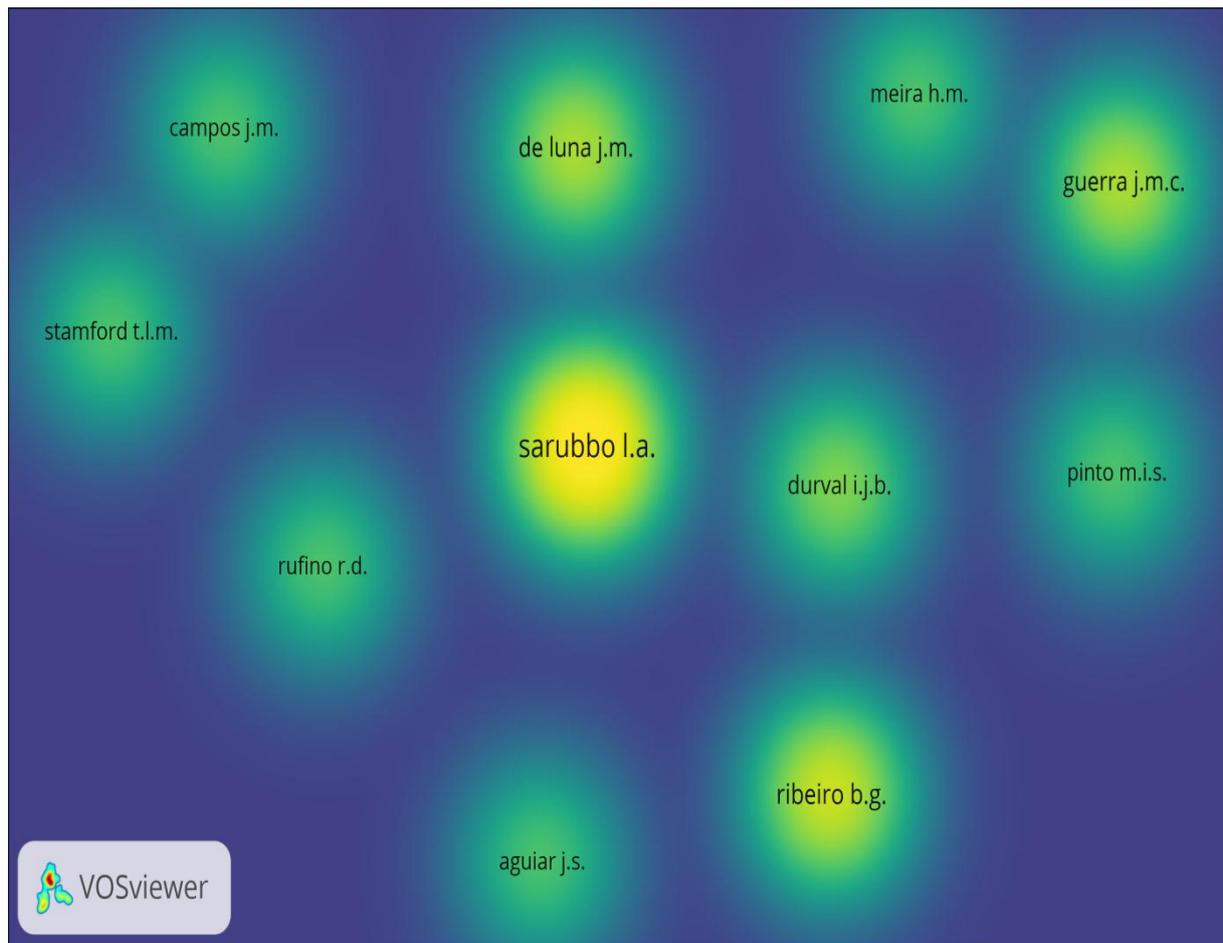


Figure IV.10 Visualisation de l'analyse par Coauteurs selon les auteurs (visualisation en densité) (30)

IV.4.3. Visualisation et analyse de citation pour les pays (30 documents)

Tableau IV.8 Résultats de l'analyse de citation pour les pays (30)

| Label | cluster | Weight <Links> | Weight <Total link strength> | Weight <Document > | Weight <Citation > | Score <Avg. pub. year> | Score <Avg. citation> |
|----------------------|---------|-------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Brazil | 1 | 6 | 17 | 15 | 303 | 2019.8 | 20.2 |
| Tunisia | 1 | 2 | 7 | 2 | 129 | 2014 | 64.5 |
| Switzerland | 1 | 2 | 3 | 1 | 73 | 2016 | 73 |
| Italy | 1 | 4 | 7 | 1 | 13 | 2021 | 13 |
| Germany | 2 | 2 | 2 | 2 | 25 | 2019.5 | 12.5 |
| Spain | 2 | 3 | 3 | 2 | 21 | 2019.5 | 10.5 |
| United States | 2 | 2 | 2 | 1 | 16 | 2021 | 16 |
| India | 3 | 3 | 7 | 5 | 198 | 2019 | 39.6 |

D'après les résultats obtenus du tableau **IV.8** et de la figure **IV.11**, nous pouvons déduire que l'analyse de citation pour les pays, montre l'existence de trois grappes ; le premier comporte quatre pays (Brazil, Italy, Tunisia et Switzerland), le deuxième trois (Spain, Germany et USA) et le troisième et dernier groupe en contient qu'un seul pays, l'Inde.

Le premier groupe contribue de 19 documents, avec un total de citations de 518, Le deuxième groupe contribue de 5 documents, avec un total de citations de 62 et le troisième cluster représenté par l'Inde contribue de 5 documents, avec un total de citations de 198.

Le Brésil occupe le centre de la visualisation, car il a le plus de documents, le plus de liens et le plus de citations par rapport aux autres pays.

La figure **IV.12** montre la relation entre les pays de publication et les citations sous la forme d'une visualisation superposée avec les publications moyennes par an par pays. La couleur du nœud est basée sur l'année de citation, avec un nœud bleu représentant les publications citées en 2016 et des nœuds jaunes représentant les publications citées en 2021 et plus. D'après le **Tableau IV.8** Le Brésil a le plus grand nombre de citations, soit 303. La force totale du lien est de 17; avec 15 documents en collaboration avec les autres pays.

La figure IV.13 montre la visualisation en densité de citation pour les pays, et qui mis en évidence les deux pays les plus cités en l'occurrence le Brésil et l'Inde.

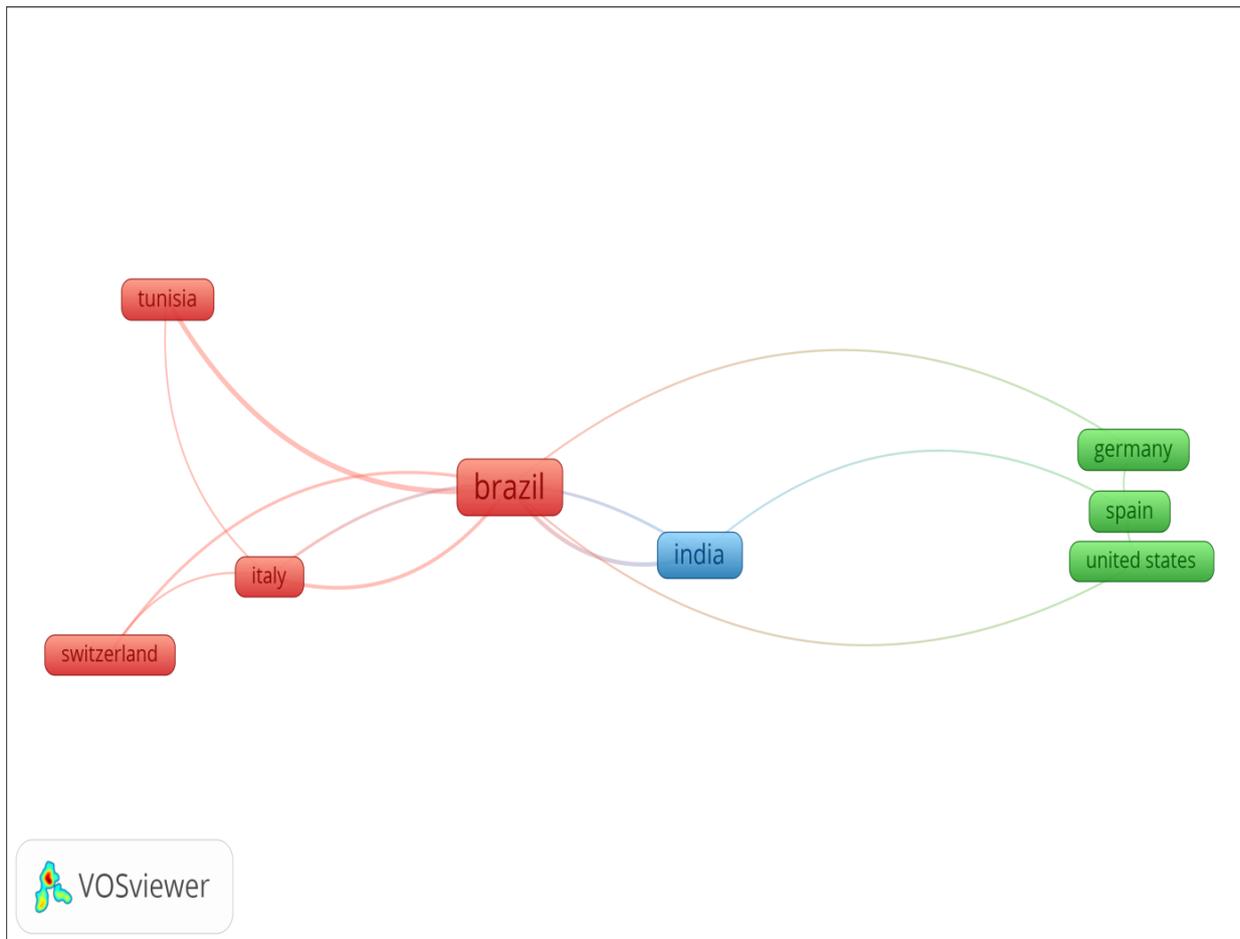
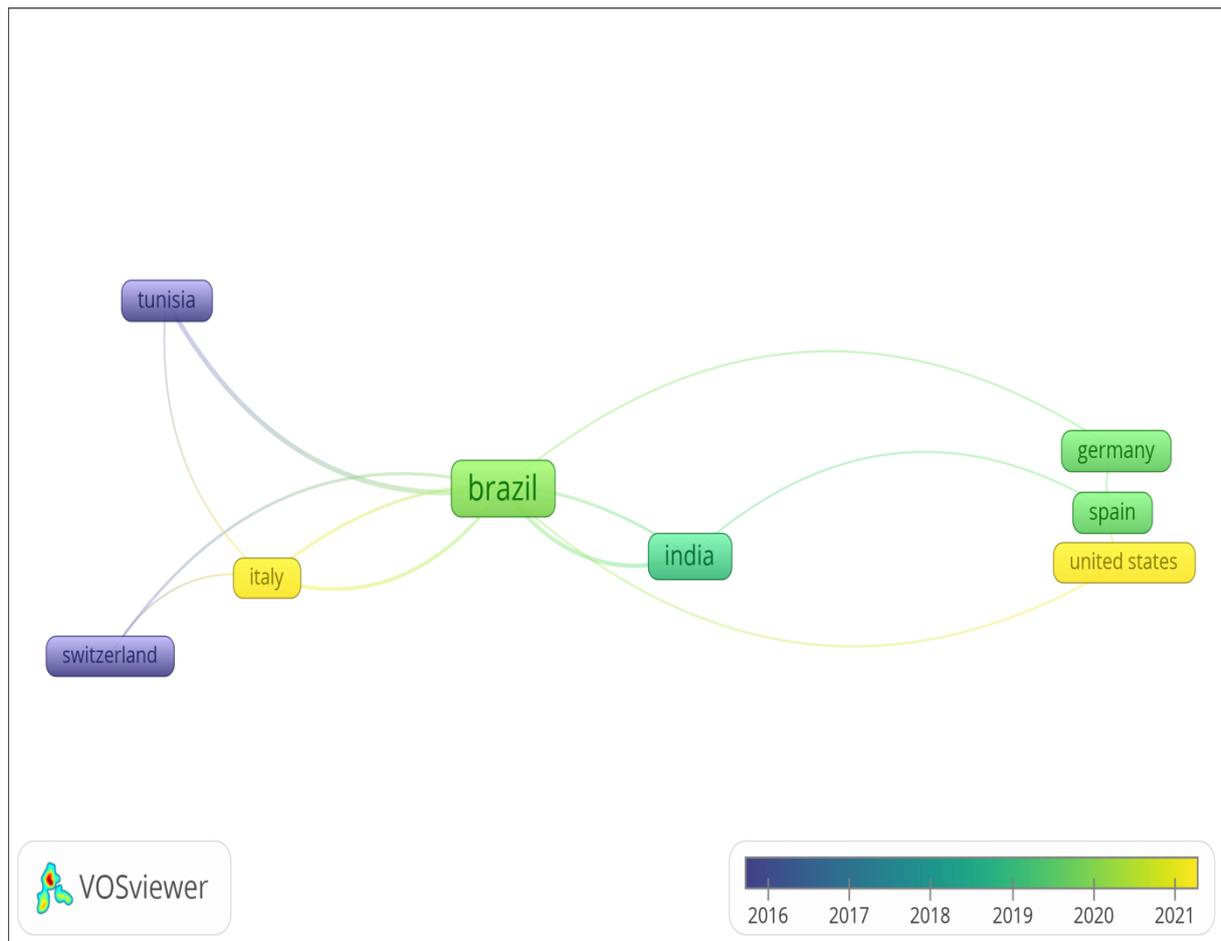


Figure IV.11 Visualisation de l'analyse de citation pour les pays (visualisation en réseau) (30)



**Figure IV.12 Visualisation de l'analyse citation pour les pays
(visualisation en suprtposition) (30)**



Figure IV.13 Visualisation de l'analyse de citation pour les pays (visualisation en densité) (30)

IV.4. Visualisation et analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs (30 documents)

L'analyse des mots associés identifie les mots (clés) (ou sous-thèmes) les plus/fréquemment utilisés, et mesure la puissance de la relation entre les mots (clés) et révèle des modèles et des tendances dans un domaine de recherche particulier. L'analyse des mots associés trouve des liens entre les concepts (mots ou sujets) qui concurremment dans les titres de documents, les mots-clés ou les résumés (ZUPIC et CATER 2015).

Tableau IV.9 Résultats de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés selon les auteurs

| Label | Cluster | Weight <Links> | Weight <Total link strength> | Weight <Occurrences> | Score <Avg. pub. year> | Score <Avg. citations> |
|---------------------------|---------|-------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Biosurfactant | 2 | 15 | 28 | 18 | 2017.94 | 34.94 |
| Lipopeptide | 1 | 6 | 8 | 4 | 2020.25 | 40.5 |
| Candida Utilis | 3 | 6 | 7 | 2 | 2019.5 | 29 |
| Antifungal Activity | 1 | 6 | 6 | 2 | 2021 | 17.5 |
| Food Spoilage | 1 | 6 | 6 | 2 | 2019.5 | 19.5 |
| B. Subtilis | 1 | 5 | 8 | 4 | 2017.5 | 43.75 |
| Antioxidant Activity | 2 | 5 | 8 | 3 | 2020.67 | 27 |
| Food Additive | 2 | 5 | 7 | 3 | 2021 | 14.67 |
| Antimicrobial Activity | 1 | 5 | 5 | 2 | 2020.5 | 24 |
| Yeast | 2 | 4 | 6 | 2 | 2020 | 40.5 |
| Bioemulsifier | 2 | 3 | 6 | 5 | 2020 | 29.6 |
| Rhamnolipid | 4 | 3 | 3 | 3 | 2019 | 20.67 |
| Biofilm | 4 | 3 | 3 | 2 | 2019.5 | 25.5 |
| Emulsion | 3 | 3 | 5 | 2 | 2017 | 33.5 |
| Foods | 3 | 3 | 5 | 2 | 2017 | 33.5 |
| Food Packaging | 1 | 2 | 3 | 2 | 2020.5 | 13 |

Avec 88 mots clés selon les auteurs, nous avons fixé le nombre deux comme valeur minimale de cooccurrence et le seuil obtenu représente 17 mots clés.

VOSviewer a transformé les données sous une forme visuelle et a classé les mots-clés fréquents en quatre clusters principaux de couleurs différentes. Les cercles les plus grands représentent les mots clés avec la plus grande importance. Les mots-clés avec les couleurs similaires appartiennent au même cluster. Grâce à l'analyse de la cooccurrence des mots-clés, VOSviewer identifie les mots-clés les plus fréquemment utilisés dans les 30 articles de l'échantillon.

Les résultats de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés selon les Auteurs sont représentés dans le tableau **Tableau IV.9** et dans les **Figures. IV.14, Figure. IV.15 et la**

Figure. IV.16 ; les trois figures représentent respectivement la visualisation du réseau et la visualisation en superposition et la visualisation en densité.

La **Figure IV.14** montre les réseaux relationnels et la force totale des liens des mots utilisés dans les mots-clés des articles. La taille des cercles indique la fréquence totale des relations (force totale du lien) des mots en fonction de l'utilisation de chaque mot avec les autres mots, et les lignes entre les deux cercles représentent les réseaux de relations des mots entre eux. La position des mots sur la **Figure IV.14** indique dans quelle mesure ils se trouvent au centre ou à la périphérie du réseau relationnel.

D'après la **Figures. IV. 14 et le tableau IV.9**, nous pouvons constater l'existence de quatre clusters; le 1^e cluster contient six mots clés, le 2^e, cinq, le 3^e trois, et le 4^e cluster en contient deux ; nous pouvons remarquer aussi que le cluster deux occupe le centre, le premier se trouve à gauche, le troisième à droite et le 4^e en bas de la visualisation.

Le deuxième groupe possède le plus grand nombre d'occurrence, 31 au total, suivi du premier, avec 16, le 3^e, 6, et le dernier groupe, le 4^e en possède 3.

Nous pouvons constater que le mot clé **Biosurfactant**, a plus de liens avec les autres mots clés (15 liens), ce qui explique qu'il a la plus grande occurrence, et qui occupe le centre de la visualisation, et les autres sont situées en périphérie.

D'autre part, le mot clé **Food Packaging**, a seulement deux liens avec les mots **Biosurfactant** et **Antifungal Activity**; il se trouve donc en périphérie de la visualisation.

La **Figure IV. 15** montre les résultats de la visualisation en superposition de la cooccurrence des mots-clés dans le titre, le résumé et la liste de mots-clés des auteurs, ainsi que l'évolution de ces termes au cours du temps.

D'après la visualisation en superposition les cercles colorés de la figure **IV.15** font référence aux mots les plus fréquemment utilisés en fonction des années de citations, de plus, la taille de la police indique la fréquence d'occurrence des mots clés.

Pour la visualisation en densité, la taille de la police et la densité (couleur de fond) des mots-clés sont utilisées pour représenter la force totale des liens (TLS). Une taille de police plus grande indique un TLS plus grand et un TLS jaune > vert > bleu. les distances entre chacun des mots-clés indiquent la relation entre ces sujets de recherche (**HE et al., 2020**) ; d'après la **Figure IV.16** (visualisation en densité), le mot le plus pertinent est biosurfactant.

Le mot-clé le plus fréquemment utilisé est **Biosurfactant** avec 18 occurrences, suivi de **Bioémulsifiant** avec 5 occurrences et **Lipopeptide** et **B. Subtilis** avec 4 occurrences chacun. Les autres mots-clés ont entre 3 et 2 occurrences, nous pouvons énoncer que ces mots représentent des sous-thèmes de recherche

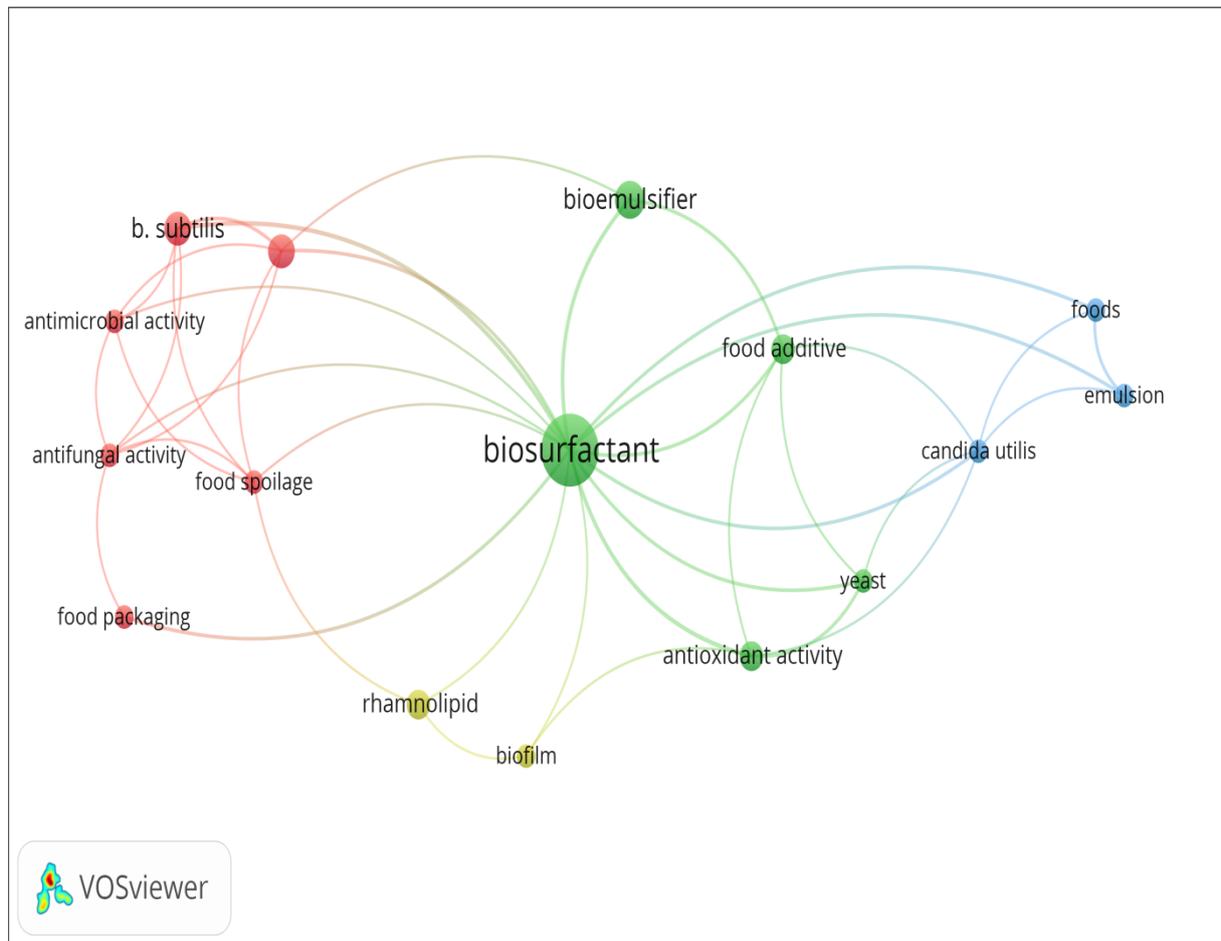


Figure IV.14 Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs
(visualisation en réseau) (30)

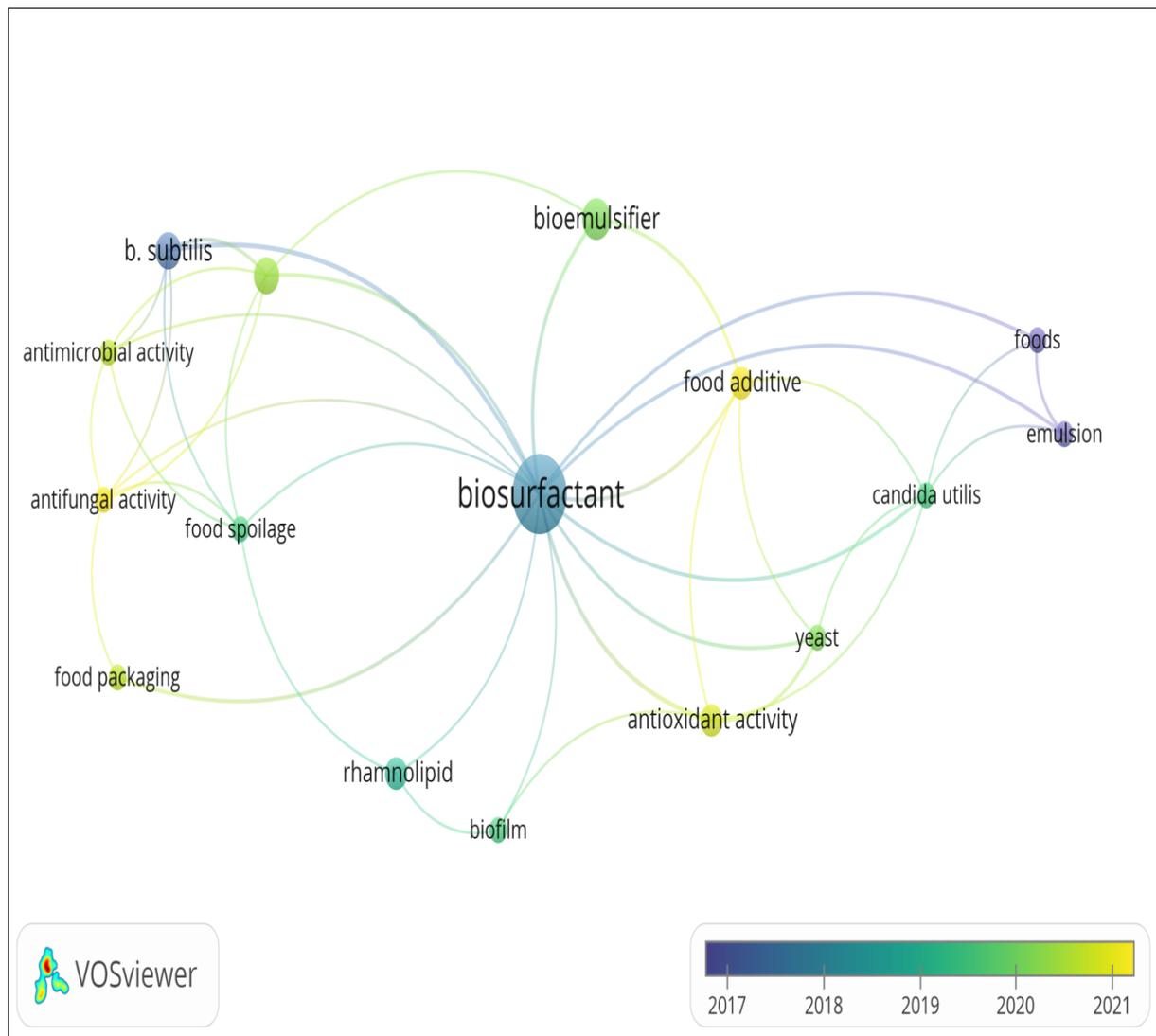


Figure IV. 15 Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs
(visualisation en superposition) (30)

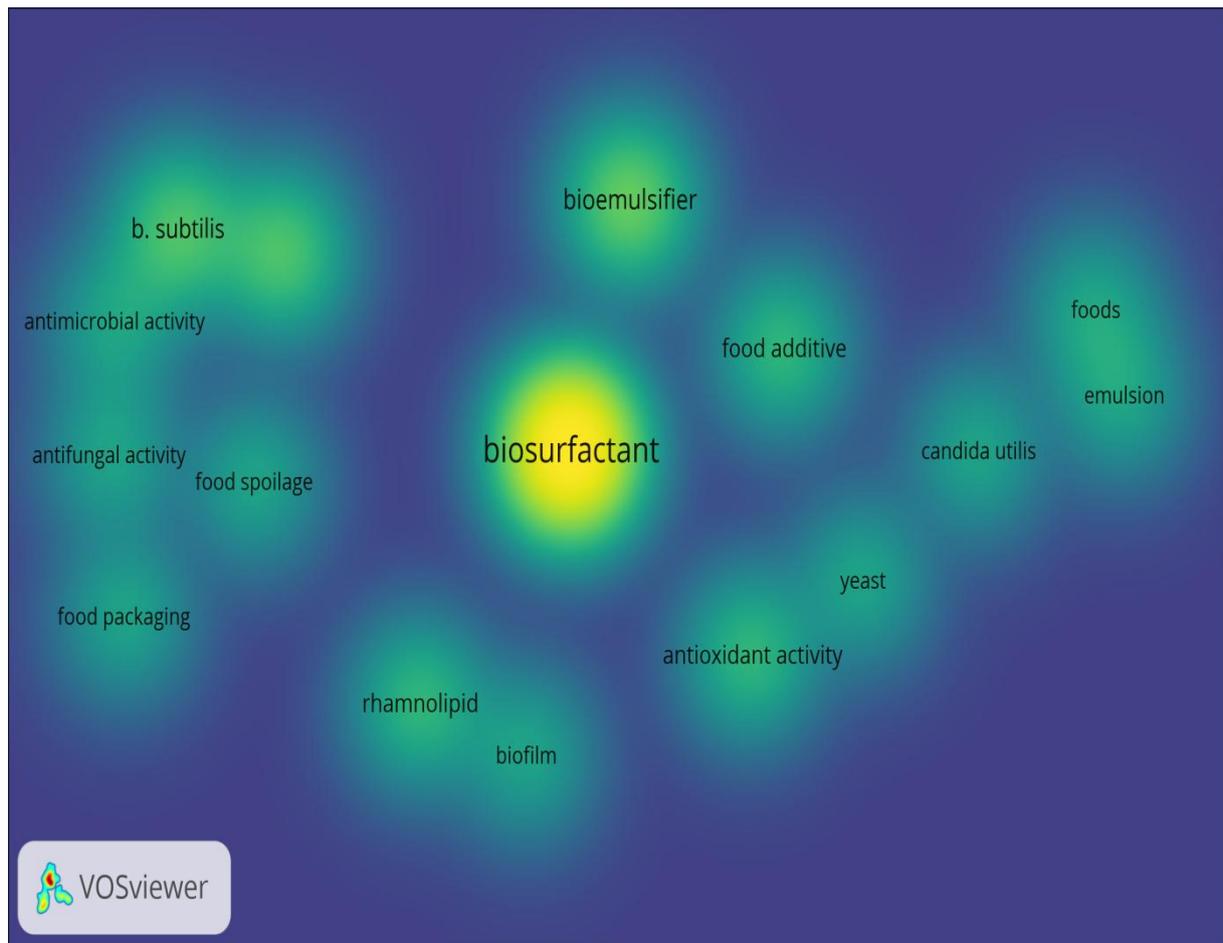


Figure IV.16 Visualisation de l'analyse de cooccurrence pour les mots clés des auteurs (visualisation en densité) (30)

IV.5. Conclusion

Nous avons effectué deux recherches, l'une sur les biosurfactants, et la deuxième sur leurs applications alimentaires sous forme d'articles sur les données extraites de la base de données de Scopus,, la première requête a donné 640 publications, et la deuxième 30 articles ; après traitement avec les trois logiciels Excel, Publish or Perish 8 et VOSviewer 1.6.19, nous pouvons émettre quelques conclusions :

- ✚ Les recherches liées aux applications des biosurfactants ont considérablement augmenté au cours des dernières années.
- ✚ 640 documents ont été publiés de 1992 à 2022, sur les biosurfactants en liens avec l'alimentaire et les déchets et sous-produits alimentaires ; seulement 30 articles traitent des applications pratiques des biosurfactants dans le domaine alimentaire.
- ✚ La langue anglaise est de loin la plus utilisée ;
- ✚ Les revues Bioresource Technology, Applied Microbiology And Biotechnology et Frontiers In Microbiology sont les plus prolifiques dans le domaine des biosurfactants
- ✚ L'Inde, le Brésil et la Chine arrivent en tête en nombre de documents produits.
- ✚ **Les Auteurs Sarubbo, L.A., Banat, I.M. et Rufino, R.D.** ont respectivement publié 24, 12 et 10 documents. Les autres auteurs ont des contributions inférieures à 10.
- ✚ Les deux collections (640 et 30) ont reçu respectivement 30311 et 810 citations au cours de cette période (1992-2022).
- ✚ Les citations moyennes par année et par document sont égales à 977.77 et 47.36 pour la première collection et de 47.65 et de 27.00 pour la deuxième collection.
- ✚ Les indices h et g sont égales à 86 et 155 pour le premier corpus et de 16 et de 28 pour le deuxième corpus.
- ✚ D'après l'analyse et la visualisation de la fréquence des mots-clés d'auteur, la recherche liée aux biosurfactants et les application alimentaires la courances des mots clés suivants : **Biosutfactant** avec 18 occurrences, suivi de **Bioemulsifier** avec 5 occurrences et **Lipopeptide** et **B. Subtilis** avec 4 occurrences.
- ✚ La visualisation et l'analyse de Co-auteurs et Auteurs à révélé que **Sarubbo L.A** , est l'auteur qui a le plus de liens de coopération avec les autres auteurs.
- ✚ La visualisation et l'analyse de citation pour les pays montre que le Brésil et l'Inde sont les deux pays les plus cités.

- ✚ D'après la visualisation et l'analyse par cocitation – revues scientifiques (Sources) nous pouvons constater que le journal **Frontiers In Microbiology**, a plus de liens avec les autres revues, en d'autres termes, il a la plus grande co-citation.



Conclusion

Générale



Conclusion Générale

Ce travail de mémoire de Master a eu comme objectif une synthèse bibliométrique préliminaire sur les applications des biosurfactants, et leurs applications potentielles dans différents secteurs en générale et notamment dans le domaine agroalimentaire; et ceci à travers des études tirées des articles scientifiques.

La première partie représente le premier chapitre ; et se divise en quatre parties et est consacrée à une description des biosurfactants, en se focalisant sur les points suivants :

- Généralités sur les biosurfactants ,
- Tests de criblages,
- Extraction et analyse,
- et leurs applications dans divers domaines, en particulier le domaine alimentaire,

La deuxième partie représente le deuxième chapitre et est consacrée à une étude bibliographique sommaire sur l'analyse bibliométrique:

Ce chapitre porte sur les points suivants:

- ✓ Définitions et généralités sur l'analyse bibliométrique ou bibliométrie ;
- ✓ Principales lois et indicateurs bibliométriques ;
- ✓ Les outils bibliométriques (Les bases de données et les outils d'analyse);

La troisième partie représente le troisième chapitre ; et est consacrée à l'axe Matériels et Méthodes.

Ce chapitre s'articule sur les points suivants :

- Objectifs et Méthodologie ;
- Source et Extraction des Données ;
- Analyse Statistique des Données et des Citations ;
- Visualisation des Données.

La quatrième partie représente le quatrième chapitre ; et est consacrée à l'axe Résultats et Discussions.

Ce chapitre s'articule sur les points suivants :

- Traitement des données issues de Scopus ;
- Source et Extraction des Données ;
- Analyse de citations par logiciel Pop ;
- Visualisation des données par le logiciel VOSviewer.

Conclusion Générale

Basée sur 640 publications (1^e recherche) sur les biosurfactants et sur 30 articles (2^e recherche), cette analyse bibliométrique donne un aperçu de la recherche sur les biosurfactants et identifie quelques points significatifs de la recherche tout au long de la période 1992-2022.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude :

- ✓ Les recherches liées aux applications des biosurfactants ont considérablement augmenté au cours des dernières années.
- ✓ 640 documents ont été publiés de 1992 à 2022, sur les biosurfactants en liens avec l'alimentaire et les déchets et sous-produits alimentaires ; seulement 30 articles traitent des applications pratiques des biosurfactants dans le domaine alimentaire.
- ✓ Les documents sous forme d'articles représentent 63.44% de la totalité de la collection (640) ; par contre les articles review et les chapitre des livres représentent respectivement 19.38% (124) et 10.78% (69), et l'ensemble restant de la collection ne représente guère que 6.4% (41).
- ✓ La langue anglaise est de loin la plus utilisée ; elle représente 97% de la totalité des langues employées pour la première collection de données (640 documents), pour la deuxième collection (30 articles), les articles sont exclusivement en anglais.
- ✓ Les revues *Bioresource Technology*, *Applied Microbiology And Biotechnology* et *Frontiers In Microbiology* sont les plus prolifiques dans le domaine des biosurfactants
- ✓ L'Inde, le Brésil et la Chine arrivent en tête en nombre de documents produits.
- ✓ **Les Auteurs Sarubbo, L.A., Banat, I.M. et Rufino, R.D.** ont respectivement publié 24, 12 et 10 documents. Les autres auteurs ont des contributions inférieures à 10.
- ✓ Les deux collections (640 et 30) ont reçu respectivement 30311 et 810 citations au cours de cette période (1992-2022).
- ✓ Les citations moyennes par année et par document sont égales à 977.77 et 47.36 pour la première collection et de 47.65 et de 27.00 pour la deuxième collection.
- ✓ Les indices h et g sont égales à 86 et 155 pour le première corpus et de 16 et de 28 pour le deuxième corpus.
- ✓ D'après l'analyse et la visualisation de la fréquence des mots-clés d'auteur, la recherche liée aux biosurfactants et les application alimentaires la courances des mots clés suivants : **Biosurfactant** avec 18 occurrences, suivi de **Bioémulsifier** avec 5 occurrences et **Lipopeptide** et **B. Subtilis** avec 4 occurrences.
- ✓ La visualisation et l'analyse de Co-auteurs et Auteurs a révélé que **Sarubbo L.A** , est l'auteur qui a le plus de liens de coopération avec les autres auteurs.

Conclusion Générale

- ✓ La visualisation et l'analyse de citation pour les pays montre que le Brésil et l'Inde sont les deux pays les plus cités.
- ✓ D'après la visualisation et l'analyse par cocitation – revues scientifiques (Sources) nous pouvons constater que le journal **Food Control**, a plus de liens avec les autres revues, en d'autres termes, il a la plus grande co-citation.

Le présent travail est loin de venir à bout des buts assignés et à la lumière des informations obtenues, il est préférable de prolonger et de compléter cette étude par des approches plus approfondies portant sur les sujets suivants :

- ❖ Reconduire cet étude, en utilisant d'autres bases de données ou une étude comparative avec deux ou plusieurs bases bibliographiques;
- ❖ Reconduire cet étude, en utilisant d'autres logiciels ou une étude comparative avec deux ou plusieurs programmes informatiques;
- ❖ Compléter cette analyse par l'étude des types d'analyse de citation qui n'ont pas été abordées pendant cette présente étude ; de même pour les indicateurs bibliométriques non traités.
- ❖ Applications des lois bibliométriques sur les données bibliographiques en rapport avec les biosurfactants;
- ❖ Réaliser des analyses bibliométriques sur les applications des biosurfactants sur d'autres domaines ou suivant d'autres points de vu ...

À

1. **ABALOS A., PINAZO A., et INFANTE M.R., 2001-** Physicochemical and antimicrobial properties of new rhamnolipids produced by *Pseudomonas aeruginosa* AT10 from Soybean oil refinery wastes. *Langmuir*, 17: 1367-1371.
2. **ARINO S., MARCHAL R., et VANDECASTEELE J.P., 1996-**Identification and production of rhamnolipidic biosurfactant by a *Pseudomonas* species, *Appl Microbiol. Biotechnol*, 45: 162-168.
3. **ARRUABARREN BEA ., 2021-** Datavisualisation au service de la médiation homme-données. *Techniques de l'ingénieur H7422 V1* , p1-18

B

4. **BANAT I., FRANZETTI A., GANDOLFI I., BESTETTI G., MARTINOTTI M., FRACCHIA L., SMYTH T. et MARCHANT R.,2010-**Microbial biosurfactants production, applications and future potential. *Applied and Microbiological Biotechnology*,87: 427-444.

C

5. **CAMEOTRA S., et MAKKAR R.S.,1998-**Synthesis of biosurfactants in extreme conditions.*Appl Microbiol Biotechnol*, 50: 520-9.
6. **CARDOSO A., LACERDA D., MORANDI M., GAUSS, L., 2021-**Literature Analysis. In: Literature Reviews. Springer, Cham.
7. **COBO M.J., 2011-** Science mapping software tools: review, analysis, and cooperative study among tools. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* 62(7), 1382–1402.

D

8. **DESAI J.D., et BANAT I.M., 1997-** Microbial Production of Surfactants and Their Commercial Potential. *Microbiology And Molecular Biology Reviews*,61(1):47-64.
9. **DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., & LIM, W. M. (2021).** How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(March), 285–296.

£

10. **EDWARDS D.A., LUTHY R.G., LIU Z., 1991**-Solubilisation of polycyclic aromatic hydrocarbon in micellar nonionic surfactant solution. *Environ Sci Technol*,25(1): 127-133.
11. **EGGHE L.** Theory and practise of the g-index. *Scientometrics* 2006;69:131-52

£

12. **GABET S., 2004** – *Remobilisation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique.* Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 177 p.
13. **GAKPE E., PATTANATHU K. S. M. R., et HATHA M. A.A., 2007** – Microbial Biosurfactants . *J.Mar. Atmos. Res*, 3(2): 1-17.
14. **GALDINO R.B., MONTEIRO DSM., ISABEL SPM., MORAIS MH., BATISTA DI., MEDEIROS CGJ., SARUBBO L., 2019**-Production and optimization of the extraction conditions of a biosurfactant of *Candida utilis* Ufpeda1009 with potential of application in the food industry. *Chemi Engi Transac*, 74:1477-1482.
15. **GARCIA-VILLAR C., et GARCIA -SANTOS JM., 2021**- Indicadores bibliométricos para evaluar la actividad científica. *Radiología.*;63:228-235.
16. **GEDDA M., 2018**- Indices bibliométriques et revues francophones de kinésithérapie. *Kinesither Rev* ; 18: 9–28
17. **GHASEMI A., MOOSAVI-NASAB M., SETOODEH P., 2019**-Biosurfactant production by lactic acid bacterium *Pediococcus dextrinicus* SHU1593 grown on diferent carbon sources: strain screening followed by product characterization. *Sci Rep* ,9:5287
18. **GUERRA-SANTOS H.L., OTHMAR K.O., ARMIN F., 1986** – Dependence of *Pseudomonas aeruginosa* continuous culture biosurfactant production on nutritional and environmental factors. *Appl Microbiol Biotechnol*, 24: 443-448.
19. **GUTIÉRREZ-SALCEDO M, MARTÍNEZ MÁ, MORAL-MUÑOZ JA, HERRERA-VIEDMA E, COBO MJ .,2018**-Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Applied intelligence*, 48(5):1275-1287

H

- 20. HACHAICHI, 2008-** *Isolement et Caractérisation de Biosurfactants Bactériens*. Thèse de Doctorat , Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (*U.S.T.H.B*), Alger, 187 p.
- 21. HAIGH S.D., 1996** – A review of the interaction of surfactants with organic contaminants in soil. *The Science of the Total Environment*, 185: 161-170.
- 22. HEALY M.G., DEVINE C.M., et MURPHY R., 1996** – Microbial production of biosurfactants. *Resources, Conservation and Recycling*, 18: 41-57.
- 23. HE, DONGHUI, KEITH BRISTOW, VILIM FILIPOVIĆ, JIALONG LV, HAILONG HE., 2020-** "Microplastics in Terrestrial Ecosystems: A Scientometric Analysis" *Sustainability* 12, no. 20: 8739.
- 24. Herry ., Bellon-Fontaine ., 2001-** Biosurfactants, surface-active biomolecules with wide potential application. *International Journal of food science and Technology* Vol. 21; N°. 6.
- 25. HOLMBERG K., 2001-** Natural surfactants. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 6: 148-159.

I

- 26. INES .M ., DHOUHA G., 2015-** Glycolipid biosurfactants: potential related biomedical and biotechnological applications. *Carbohydr Res*, 416:59-69.
- 27. IYER A., MODY K., JHA B., 2006-** Emulsifying properties of a marine bacterial exopolysaccharide. *Enzyme Microb Technol*, 38:220-222.

L

- 28. JADHAV, J., S. DUTTA, S. KALE AND A ., PRATAP., 2018-** Fermentative production of rhamnolipid and purification by adsorption chromatography. *Prep. Biochem. Biotechnol*, 16; 48(3): 234–241.
- 29. JAHAN R., BODRATTI A. M., TSIANOU M., ALEXANDRIDIS P., 2020-** Biosurfactants, natural alternatives to synthetic surfactants: Physicochemical properties and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 275: 102061.

K

30. KASHIF A., REHMANB R., FUWAD C A., KASHIF SHAHIDD M., DAYARATHNEE H.N.P., JAMALF A., NAUMAN AFTABB M., MAINALIG B., CHOIH Y., 2022-Current advances in the classification, production, properties and applications of microbial biosurfactants. *Advances in Colloid and Interface Science*, 306:102718.
31. KIRAN GS., PRIYADHARSINI S., SAJAYAN A., PRIYADHARSINI GB., POULOSE N., SELVIN J., 2017-Production of lipopeptide biosurfactant by a marine *Nesterenkonia* sp. and its application in food industry. *Front Microbiol*, 8:1138.
32. KRISHNASWAMY M., SUBBUCHETTIAR G., RAVI TK., PANCHAKSHARAM S., 2008-Biosurfactants properties, commercial production and application. *Current Science* ,94: 736-747.

L

33. LANG S., WULLBRANDT D., 1999-Rhamnose lipids biosynthesis- Microbial production and applications potential, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 51: 22-32.

M

34. MAIER R.M., 2003- Biosurfactants: evolution and diversity in bacteria. *Advances in Applied Microbiology*, 5:101-121.
35. MARGARITIS A., ZAJIC J.E., GERSON D.F., 1979 – Production and Surface-Active Properties of Microbial Surfactants. *Biotechnology and Bioengineering*, 21:1151- 1162.
36. MARTÍN-MARTÍN, A., ORDUNA-MALEA, E. & DELGADO LÓPEZ-CÓZAR, E. (2018). A novel method for depicting academic disciplines through Google Scholar Citations: The case of Bibliometrics. *Scientometrics* **114**, 1251–1273

- 37. MOUILLET É., 2016-** Doin, « Méthodo », , p. 95-108. « Chapitre 5 - La bibliométrie », dans : *Les essentiels de la recherche bibliographique en santé. Chercher • Organiser • Publier* --9782704014712-page-95.htm
- 38. MOUNAIM L., BOUTAQBOUT Z., TIGHAZRI S., 2022-**Explosion des technologies digitales et évolution de la recherche scientifique sur le parcours client. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, 3(3-1), 215-229.
- 39. MOHADAB M., BOUIKHALENE B., SAFI S., 2020-** Chaos, Solitons et Fractales 139 /110052
- 40. MUKHERJEE S., DAS P., SEN R.,2006-**Towards commercial production of microbial surfactants. *Trends Biotechnol*, 24:509-515.
- 41. MULLIGAN C.N., 2009-**Recent advances in the environmental applications of biosurfactants. *Current Opinion Colloid Interface Sci*,14:372-378.
- 42. MULUGETA K., KAMARAJ M., TAFESSE M., et ARAVIND J.,2021-** *A Review on Production, Properties, and Applications of Microbial Surfactants as a Promising Biomolecule for Environmental Applications*.pp. 3–28 cité par **ARAVIND J., KAMARAJ M., PRASHANTHI M.D., RAJAKUMAR S., -** *Strategies and Tools for Pollutant Mitigation*; Ed. Springer Cham., Berlin, 450p.

N

- 43. NEINDRE B.L., 1993-**Tensions superficielles et interfaces. *Techniques de l'ingénieur. Traités constantes physico-chimiques*, 475 : 2-12.
- 44. NUNES, H. M. A. R., VIEIRA, I. M. M., SANTOS, B. L. P., SILVA, D. P., & RUZENE, D. S., 2022-** Biosurfactants produced from corncob: a bibliometric perspective of a renewable and promising substrate. *Preparative biochemistry & biotechnology*, 52(2), 123–134.

P

- 45. PARDHI DS., PANCHAL RR., RAVAL VH., JOSHI RG., POCZAI P., ALMALKI WH., et RAJPUT KN.,2022-**Microbial surfactants: A journey from fundamentals to recent advances. *Front Microbiol*, 13:982603.

46. PASCAL C., 2011– LA FERMENTATION – OPÉRATIONS UNITAIRES EN GÉNIE BIOLOGIQUE. 1er ED. CNDP-CRDP, Bordeaux, France, 111 p.
47. PRISCILLA F., AMARAL F., ALICE M., COELHO Z., ISABEL M., MARRUCHO J., JOÃO A., et COUTINHO P., 2010-*Biosurfactants from yeasts: characteristics, production and application*. pp. 236–249 cité par RAMKRISHNA S., *Biosurfactants*.Ed. Springer, New York, 331p
48. PRITCHARD A., 1969- Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25, 348-349.
49. PRUTHI V., CAMEOTRA S.S., 1995- Rapid Method For Monitoring Maximum Biosurfactant Production Obtained By Acetone Precipitation. *Biotechnology Techniques*,9 (4): 271-276.



50. RANIA EL OUIDANI .,2023- international journal of financial studies, economics and management, vol.2, no 2, 17-41
51. RIBEIRO B.G., GUERRA J.M.C., et SARUBBO L.A.,2020-Biosurfactants: production and application prospects in the food industry, *Biotechnology*. Prog. 36 (5).
52. RIBEIRO B.G., VERAS B.D., AGUIAR J.D., GUERRA J.M., SARUBBO L.A. ,2020-Biosurfactant produced by *Candida utilis* UFPEDA1009 with potential application in cookie formulation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 46, 14-21.
53. RODRIGUES L., 2006-Biosurfactants : potential applications in medicine. *J. Anticrop Chemother*,57:609-618.
54. ROSTAING H.,1996-. La bibliométrie et ses techniques. Sciences de la Société; Centre de Recherche Rétrospective de Marseille, Outils et méthodes. hal-01579948.



55. SALHINASAB A., SABERNEJAD A., & HASSANSHAHIAN M., 2022 - Application of Biosurfactants in Food Preservation. *Journal of Quality and Durability of Agricultural Products and Food Stuffs*, 1(3), 46-56.

56. SANTOS D.K.F., RUFINO R.D., LUNA J.M., SANTOS V.A., SARUBBO L.A., 2016-Biosurfactants: Multifunctional Biomolecules of the 21st Century. *International journal of molecular sciences*, 17(3) :401.
57. SAMANTA A., PAL P., MANDAL A., SINHA C., LALEE A., DAS M., KAITY S., MITRA D.,2012- Estimation of Biosurfactant Activity of an Alkaline Protease Producing Bacteria Isolated from Municipal Solid Waste. *Cent. Euro. J. Exp. Bio*,1 (1):26-35.
58. SATPUTE S.K., BANAT I.M., DHAKEPHALKAR P.K., BANPURKAR A.G., CHOPADE B.A.,2010-Biosurfactants, bioemulsifiers and exopolysaccharides from marine microorganisms. *Biotechnol Adv*, 28 (4):436-450.
59. SENGUPTA IN., 2009- Bibliometrics, informetrics, scientometrics and librmetrics: an overview. *Libri* ;42(2):75–98
60. SEN S. K., 1999- *For what purpose are the bibliometric indicators and how should they work*. Mexico: “4th Laboratory Indicative on Science and Technology at Conacyt.
61. SHEPHERD R., ROCKEY J., SUTHERL I.W., et ROLLER S.,1995-Novel bioemulsifiers from microorganisms for use in foods. *Journal of Biotechnology*, 40 (3): 207-217.
62. SHARMA D., 2021-*Biosurfactants: Greener Surface Active Agents for Sustainable Future Microbial Surfactants*. Ed. Springer, Singapore, 200 p.
63. SILVA R., ALMEIDA DG., RUFNO R.D., LUNA J.M., SANTOS V.A., et SARUBBO L.A., 2014- applications of biosurfactants in the petroleum industry and the remediation of oil spills. *Int J Mol Sci* ,15:12523-12542.
64. SINGH P, PATIL Y, RALE V (2018) Review article: biosurfactant production: emerging trends and promising strategies. *J Appl Microbiol* 126:2–13.
65. SOBRINHO H.B.S., LUNA J. M., RUFINO R.D., PORTO A. L. F., et SARUBBO L.A., 2013-Biosurfactants: Classification, properties and environmental applications. In *Recent Developments in Biotechnology*. *Stadium Press LLC: Houston, TX, USA*, 11: 1-29. *biology Protocols*. Ed. Springe Berlin, Germany,319p.
66. SWEILEH, W.M., AL-JABI, S.W., ABUTAHA, A.S., ZYOUD, S.H., ANAYAH, F.M.A., SAWALHA, A.F., 2017- Bibliometric analysis of worldwide scientific literature in mobile - health: 2006–2016. *BMC Med. Informatics Decis. Mak.* 17 (1)

J

67. TIERNOA NR ., GONZALES-CRUZ TF ., MARTINEZ JL.,2017- . An overview of qualitative comparative analysis: a bibliometric analysis. *J Innov Knowl* ;2(1):15–23.
68. TRINDADE M., SITHOLE N., KUBICKI S., THIES S., BURGER A. ,2021- Screening Strategies for Biosurfactant Discovery. In: Hausmann, R., Henkel, M. (eds) *Biosurfactants for the Biobased Economy. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, vol 181. Springer, Cham.
69. TWIGG M.S., BACCILE N., BANAT I.M., DEZIEL .E,MARCHANT R.,ROELANTS S., et VAN B.,2020- Microbial Biotechnology published by Society for Applied Microbiology. *Microbial Biotechnology* ,14(1): 147-170.

V

70. VALLEJO C.M., RESTREPO M.A., DUQUE F.L., DÍAZ, J.C., 2021- Production, characterization and kinetic model of biosurfactant produced by lactic acid bacteria. *Electronic Journal of Biotechnology*, 53, 14-22.
71. Valderrama, P., Jiménez-Contreras, E., Escabias, M., et Valderrama, M. J. Introducing a bibliometric index based on factor analysis. *Scientometrics* **127**, 509–522 (2022).
72. VAN ECK N. J., WALTMAN L., 2023- VOSviewer Manual. In VOSviewer. https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf
73. VAN OORSCHOT J.A., HOFMAN E., HALMAN J.I., 2018- A bibliometric review of the innovation adoption literature. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* *134*, 1–21, doi:10.1016/j.techfore.2018.04.032.
74. VAN RAAN AFJ., 2005- For your citations only? Hot topics in bibliometric analysis. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives* *3* (1), 50–62.

W

75. WITEK-KROWIAK, A., J. WITEK, A. GRUSZCZYNSKA, R.G. SZAFRAN, T. O'ZLECKI *et al.*, 2011-World J. Microbiol. Biotechnol. *27*: 1961–1964.

Z

- 76. ZHAO F., ZHOU J.D., MA F., SHI R.J., HAN S.Q., ZHANG J., et ZHANG Y.,2016**-Simultaneous inhibition of sulfate-reducing bacteria, removal of H₂S and production of rhamnolipid by recombinant *Pseudomonas stutzeri* Rhl: applications for microbial enhanced oil recovery. *Bioresour Technol*, 207:24-30.
- 77. ZUPIC IVAN ., CATER TOMAZ., 2015**- Bibliometric methods in management and organization.*Organizational Research Methods*, 18(3), pp. 429-472. ISSN 1094-4281.

Web graphie

Site 1 : <https://www.pasteur.fr/fr/ceris/bibliotheque/analyser-information-bibliometrie> (consulté le 30/07 /2023).

Site 2 :<https://harzing.com/resources/publish-or-perish> (consulté le 10/03 /2023).

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تحليل ببليومتري حول استخدام النفايات والمنتجات الثانوية من صناعة الأغذية الزراعية لتخليق المواد الخافضة للتوتر السطحي وتطبيقاتها في قطاع الأغذية. ركزت الدراسة على الوثائق المفهرسة في قاعدة بيانات Elsevier's Scopus خلال الفترة 1992-2022؛ تم استخدام Excel أو Publish أو Perish 8 و VOSviewer 1.6.19 والبرمجيات. من بين 640 وثيقة تمت مراجعتها، كان هناك 374 مقالاً فقط، منها 30 مقالاً تقدم تطبيقات ملموسة في قطاع الأغذية. حددت النتائج الإحصائية وتصور البيانات مؤشرات الاقتباس المهمة ومجالات الدراسة، والمؤلفين المشاركين في الاستشهاد، ومساهمات البلدان، والمراجعات الإنتاجية، والكلمات الرئيسية ذات الصلة. يوصى بإجراء مزيد من البحث، باستخدام قواعد بيانات أخرى، وبرامج أخرى، ودراسة التطبيقات الأخرى للمواد الخافضة للتوتر السطحي من خلال التحليل الببليومتري.

الكلمات المفتاحية: المواد الخافضة للتوتر السطحي الحيوية ، الأغذية الزراعية، التحليل الببليومتري، سكوبوس.

Résumé :

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse bibliométrique portant sur l'utilisation des déchets et sous-produits de l'industrie agroalimentaire pour la synthèse des biosurfactants et les applications de ces derniers dans le domaine alimentaire. L'étude a porté sur les documents indexés dans la base Scopus d'Elsevier au cours de la période 1992-2022 ; les logiciels Excel, Publish or Perish 8, VOSviewer 1.6.19 et ont été utilisés. Sur les 640 documents passés en revue, seulement 374 étaient des articles comportant 30 articles présentant des applications concrètes dans le secteur alimentaire. Les résultats statistiques et la visualisation des données ont identifié des indicateurs de citations et des domaines d'étude importants, des auteurs co-cités, des contributions de pays, des revues productives, et les mots clés pertinents. Des recherches plus approfondies sont recommandées, en utilisant d'autres bases de données, d'autres logiciels, et d'étudier d'autres applications des biosurfactants par le biais de l'analyse bibliométrique.

Mots clés : Biosurfactant, Agroalimentaire, Analyse Bibliométrique, Scopus,

Abstract:

The objective of this study is to carry out a bibliometric analysis on the use of waste and by-products from the agri-food industry for the synthesis of biosurfactants and their applications in the food sector. The study focused on documents indexed in Elsevier's Scopus database during the period 1992-2022; Excel, Publish or Perish 8, VOSviewer 1.6.19 and software were used. Of the 640 documents reviewed, only 374 were articles with 30 articles presenting concrete applications in the food sector. Statistical results and data visualization identified important citation indicators and areas of study, co-cited authors, country contributions, productive reviews, and relevant keywords. Further research is recommended, using other databases, other software, and studying other applications of biosurfactants through bibliometric analysis.

Keywords: Biosurfactant, Agrifood, Bibliometric Analysis, Scopus.