

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Dans le cadre de l'arrêté ministériel n° 1275

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Présenté par :

M^{lle}. Bouchakour fatma el zahraa

M^{lle}. Benyahia fatima zohra

Thème

Étude de l'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané par conception d'un système de surveillance Arduino

Soutenu publiquement le 03 juillet devant le :

Jury :

Présidente : Mme MOULAY M

Encadrant : Mr. BOUSSOUM M. O

Co-encadrant : Mme LARIBI .H

Examineur: Mr. BENSALIM M. O

Membre de Startup: Mr. NEGADI M

Membre de Startup: Mr. AZZAOUI M

Grade

MCA, U.Tiaret

Pr, U.Tiaret

Pr, U.Tiaret

MCA, U.Tiaret

MCA, U.Tiaret

MCA, U.Tiaret

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

Toutes louanges et tous remerciements sont dus à ALLAH pour nous avoir dotées de force, courage et volonté pour l'accomplissement de travail.

Nous adressons nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés d'aboutir à la fin de nos études de formation à réaliser ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements aux :

NOTRE Encadrant M.C. BOUSSOU M Merci pour vos précieux conseils qui nous a permis de réaliser au mieux ce travail et pour vos encouragements.

Madame H.Laribi, Pr à l'université de Blida, qui a co-encadré ce travail, pour ses conseils qui m'ont guidé tout au long de ce travail

Nous remercions vont également aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Nous tiendrons à remercier les techniciens de laboratoires de microbiologie.

Mr HOJJINE L. Responsable de l'équipe de formation Master " Microbiologie appliquée "

Nous remercions tous nos enseignants de master 2 qui nous ont suivis pour notre formation et pour leurs précieux conseils

•Enfin nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce présent travail.

Dédicace

Avant tout, j'ai plein de gratitude à ALLAH qui m'a donné de l'inspiration pour aller plus loin dans ma vie

Je dédie ce modeste travail avec plein d'amour et de respect à :

Ma Mère Boudia Aicha Pour l'amour, les sacrifices, la gentillesse, la joie et le confort qu'elle m'a offert.

Mon père Mohamed Pour tous les sacrifices consentis, pour toute la confiance placée en moi, pour tous les encouragements reçus.

Mes frères Takieddine et Youcef et Ma très aimée sœur Israa

À ma seconde maman Khadidja la plus proche de mon cœur pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

Et à ma précieuse tante Malika

À mes amis, en particulier Amina, Hind, Khadija et Fieza

A ma chère Abedi Fatima qui m'a donné un coup de main et à M. Bouzidi pour son aide précieuse.

Enfin à toutes à tous ceux qui m'ont aidé

JZDIHAR



Dédicaces

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

Mes chères parents Abed et Nakhla À mes parents, les personnes les plus chères à mon cœur qui m'ont soutenue tout au long de ma vie. Aucun mot ne saurait exprimer l'intensité de mon amour et de ma fierté d'être votre fille. Merci du plus profond de mon cœur. Vous avez été des personnes courageuses et combatives, toujours là pour m'aider à surmonter mes problèmes en plus de votre soutien constant.

Ce travail est le fruit de tous vos efforts et sacrifices pour moi, afin que je puisse non seulement mener mes études à terme mais aussi dans de bonnes conditions. J'espère ne plus être une cause d'insomnie pour vous, mais plutôt une source de joie et de grande fierté.

Je vous demande pardon et vous remercie encore une fois pour tout ce que vous avez fait pour moi. J'espère qu'Allah vous protégera, vous donnera une longue vie en bonne santé et pleine de joie.

Maman Papa je vous aime beaucoup et vous admire

Mes chers sœurs Ismahane et Rahil et mes chers frères Abderrahmane et chamseddine
Je ne peux exprimer à tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous.

À ma chère binôme Fatima El Zohra, qui a travaillé fidèlement et collaboré tout au long de ce travail, tu es pour moi une véritable sœur.

Je remercie beaucoup Monsieur Bouzidi pour son aide précieuse dans notre projet.
Qu'Allah le protège et Je vous souhaite une bonne santé et beaucoup de succès dans votre vie.

À mes chères amies Asmaa, Aya, et Fadwa, merci pour votre soutien, votre écoute, et tous les bons moments que nous avons partagés durant ce travail.

À toute ma famille Benyahia , merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. À tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer, ainsi qu'à ceux qui m'ont aidée de loin ou de près, je vous exprime ma profonde gratitude.

Fatima Zohra

LISTE DES ABRÉVIATIONS

DNase : Deoxyribonuclease

Sv : Souche du genre *Staphylococcus* prélevée au niveau du visage

Sm : Souche du genre *Staphylococcus* prélevée au niveau du mains

Sa : souche probable de *Staphylococcus aureus*

S. heamolyticus : *staphylococcus heamolyticus*

MH milieu Muler Hinton

CMI Concentration Minimale Inhibitrice

CMB Concentration Bactéricide Minimale

SCN *Staphylococcus* à coagulase négative

R1 Repiquage 1

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I. 1: Structure de la peau	1
Figure I. 2: Composition du microbiote cutané.....	3
Figure I. 3: Carte Arduino uno	6
Figure I. 4: Comparaison des températures moyennes journalières du capteur DHT22 aux données Météo France.....	7
Figure I. 5: Capteur DHT22	7
Figure I. 6: Capteur de turbidité	8
Figure I. 7: Relais thermique.....	8
Figure I. 8: Humidificateur.....	9
Figure I. 9: Ventilateur.....	9
Figure I. 10: Interface IDE	10

CHAPITRE II

Figure II. 1 : Organigramme de la démarche expérimentale	12
Figure II. 2: Interface de questionnaire sur google forme.....	14
Figure II. 3: Etapes de prélèvement	14
Figure II. 4: Encensement par strié sur gélose Chapman.....	15
Figure II. 5: Etapes de préparation du test coagulase	17
Figure II. 6: Etapes de test ADNase	17
Figure II. 7: Test mannitol.....	18
Figure II. 8: Etapes de galerie API Staph.....	19
Figure II. 9: Préparation de la série du macrodilutions.....	20
Figure II. 10: Etapes de la 2 ^{ème} technique.....	20

Figure II. 11: Technique de macro-dilution sur milieu solide pour déterminer CMB	21
Figure II. 12: Test de type respiratoire	22
Figure II. 13: Séries de pH testé.....	23
Figure II. 14: Emplacement les deux cuves	25
Figure II. 15: Fixation de ventilateur et l'isolant thermique	26

CHAPITRE III

Figure III. 1 : Répartition des résultats de la question N 01 substances naturelles utilisées pour hydrater la peau	27
Figure III. 2 : Répartition des résultats de la question N 02 forme d'aloé vera plus utilise	28
Figure III. 3: Produits utilisés	28
Figure III. 4: Observation macroscopique des colonies (prise par nous-mêmes).....	29
Figure III. 5: Photo de coloration de Gram de la bactérie à G× 100 (prise par nous-mêmes)	30
Figure III. 6: Résultats de test coagulase (prise par nous-mêmes)	31
Figure III. 7: Image représente le code obtenu à partir des résultats de micro-testes.....	33
Figure III. 8: Micro-testes biochimique par le dispositif biomérieux Api staph (prise par nous-mêmes)	33
Figure III. 9: Variation de croissance de Staphylococcus haemolyticus en fonction de la concentration	34
Figure III. 10: Evolution de la croissance de S. haemolyticus.....	38
Figure III. 11 : Evolution de la croissance de S. haemolyticus à différentes charges initiales en fonction du temps	41
Figure III. 12 : Croissance S. haemolyticus dans une gamme de pH.....	46
Figure III. 13 : Mésure de température et humidité après 24 h.....	50
Figure III. 14: Mésure de DO après 24h	51
Figure III. 15: Résultat de pH après 24 h.....	51

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II

Tableau II. 1: Produits utilisés	13
Tableau II. 2: Liste des composants électroniques.....	13

CHAPITRE III

Tableau III. 1: Résultats de la coloration de Gram	29
Tableau III. 2: Résultats de la catalase.....	30
Tableau III. 3: Résultats de la coagulase	31
Tableau III. 4: Résultats de DNase	31
Tableau III. 5: Résultats de mannitol-mobilité	32
Tableau III. 6: Pourcentage de bactérie identifiée par API Staph	32
Tableau III. 7: Diamètres d'inhibitions des produits testés sur <i>S. haemolyticus</i>	35
Tableau III. 8: Charges bactérienne de <i>S. haemolyticus</i> pour déterminer le CMB du sérum	36
Tableau III. 9: Charges bactérienne de <i>S. haemolyticus</i> pour déterminer le CMB du gel	37
Tableau III. 10: Effet d'inhibitions des produits testés sur <i>S. haemolyticus</i>	37
Tableau III. 11: Résultats de validation de modèle température.....	40
Tableau III. 12: Résultats calcule de coefficients de température	40
Tableau III. 13: Résultats de validation de modèle inoculum bactérienne	45
Tableau III. 14: Résultats calcule de coefficients de l'inoculum.....	45
Tableau III. 15: Résultats de validation de modèle pH.....	49
Tableau III. 16: Résultats calcule de coefficients de Ph	49

LISTE DES ANNEXES

Annexe A1	: Préparation du milieu	57
Annexe A2	: Coloration de gram.....	57
Annexe A3	: Conservation à court terme des bactéries	58
Annexe A4	: Essais de calibrage de PH mètre	58
Annexe A5	: Résultats de test catalase	59
Annexe A6	: Résultats de test DNase.....	59
Annexe A7	: Résultats de mannitol-mobilité	59
Annexe A8	: Résultats de technique 1 de CMI	60
Annexe A9	: Résultats de technique 2 de CMI	60
Annexe A10	: Résultats de CMB.....	61

Table de matières

Liste des abréviations	i
Liste des figures	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des annexes.....	iv
Introduction	

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Partie 1 : Partie microbiologique

I.1 Peau et microbiote.....	1
I.1.1 Définitions	2
I.1.1.1 Microbiote	2
I.1.1.2 Microbiote cutané	2
I.1.2 Types de microbiote cutané	2
I.1.2.1 Flore cutanée résidente	2
I.1.2.2 Flore cutanée transitoire	3
I.1.3 Microorganisme prédominant.....	3
I.1.3.1 Taxonomie	4
I.1.3.2 Caractères bactériologiques.....	4
I.2 Produits cosmétiques	4
I.2.1 Définition.....	4
I.2.2 Types de produits cosmétiques	5
I.2.2.1 Produits cosmétiques synthétiques	5
I.2.2.2 Produits cosmétiques naturels	5

Partie II : Partie électronique

I.3	Définition	6
I.3.1	Surveillance Intelligents	6
I.3.1.1	Carte Arduino	6
I.3.1.2	Capteurs	7
I.3.1.2.a	Capteur d'humidité-Température DHT22	7
I.3.1.2.b	Capteur de turbidité TS-300B.....	7
I.3.1.3	Module relais thermique 5 V	8
I.3.1.4	Humidificateur brumisateur super ultrasons.....	8
I.3.1.5	Électrovanne	9
I.3.1.6	Ventilateur.....	9
I.3.2	Programmation	10
I.3.2.1	Structure globale du programme (Arduino IDE).....	10
I.3.2.2	L'interface IDE :	10
I.3.2.3	Téléversement du code	10

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Partie I : Recherche microbiologique

II.1	Objectifs	11
II.2	Lieu et durée du travail	11
II.3	Protocole expérimental	12
II.4	Matériels et produits utilisés	13
II.4.1	Partie microbiologique	13
II.4.2	Partie électronique	13
II.5	Produits cosmétiques testés.....	14
II.6	Echantillonnage.....	14

II.7	Prélèvements	14
II.8	Etude bactériologique	15
II.8.1	Etude macroscopique de caractères cultureux	15
II.8.2	Examen microscopique.....	15
II.8.3	Etude du caractère biochimique	16
II.8.3.1	Test catalase.....	16
II.8.3.2	Test coagulase	16
II.8.3.3	Test ADNase.....	17
II.8.3.4	Test mannitol mobilité.....	18
II.8.3.5	Galerie API Staph.....	18
II.9	Activité antibactérienne	19
II.9.1	Étape 1 : Détermination de la CMI (Méthode de dilution en liquide).....	19
II.9.1.1	Technique 1 (dilution avec MH)	19
II.9.1.2	Technique 2 (dilution par le DMSO).....	20
II.9.2	Étape 2 : Détermination de la CMB (Méthodes de dilution dans la gélose) ..	21
II.10	Type respiratoire et durée de vie	22
II.11	Modélisation.....	22
II.11.1.1	Température.....	23
II.11.1.2	pH	23
II.11.1.3	Charge bactérienne	23

Partie II : expérimentale électronique

Partie 2	: Electronique	24
II.12	Calibrage du capteur.....	24
II.12.1	Calibration de capteur de pH mètre	24
II.12.2	Calibration de capteur de turbidité.....	24

II.13	Montage de système	25
II.13.1	Mise en place des cuves	25
II.13.1.1	Assemblage de la première cuve	25
II.13.1.2	Assemblage de la deuxième cuve.....	25
II.13.1.3	Stérilisation des cuves	25
II.13.2	Installation des ventilateurs.....	25
II.13.3	Application de l'isolant	26
II.13.4	Configuration et fonctionnement du système	26

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1	Choix des produits utilisés	27
III.1.1	Résultats de sondage sur google forme.....	27
III.1.1.1	Question N° 01.....	27
III.1.1.2	Question N° 02.....	27
III.1.2	Produits commercialisés utilisés	28
III.2	Résultats de recherche bactériologique	28
III.2.1	Identification des souches bactériennes	28
III.2.1.1	Etude des caractères culturaux.....	29
III.2.1.2	Coloration de Gram.....	29
III.2.1.3	Test de la catalase.....	30
III.2.1.4	Test de la coagulase	30
III.2.1.5	Test DNase	31
III.2.1.6	Test mannitol-mobilité	32
III.2.1.7	Galerie API Staph	32
III.3	Étude de l'activité antibactérienne	34
III.3.1	Détermination de la CMI	34

III.3.1.1	Résultats de la deuxième technique (MH)	34
III.3.1.2	Résultats de la deuxième technique (DMSO).....	35
III.3.2	Détermination de la CMB	36
III.4	Type respiratoire et durée de vie de <i>S. haemolyticus</i>	38
III.5	Résultats de la modélisation	38
III.5.1	Température	38
III.5.1.1	Analyse et interprétation	38
III.5.1.2	Élaboration du modèle	39
III.5.1.2.1	Cas de gel	39
III.5.1.2.2	Cas de sérum	39
III.5.2	Inoculum	41
III.5.2.1	Analyse et interprétation	41
III.5.2.1.1	Cas de gel	41
III.5.2.1.2	Cas de sérum	43
III.5.2.2	Élaboration du modèle	44
III.5.2.2.1	Cas de gel	44
III.5.2.2.2	Cas de sérum	44
III.5.2.3	Validation du modèle	44
III.5.3	pH.....	46
III.5.3.1	Analyse et interprétation	46
III.5.3.1.1	Cas de gel	46
III.5.3.1.2	Cas de sérum	48
III.5.3.2	Élaboration du modèle	49
III.5.3.2.1	Cas de gel	49
III.5.3.2.2	Cas de sérum	49
III.5.3.3	Validation du modèle	49
III.6	Fonctionnement du système	50

Conclusion.....	52
References bibliographies	56
Annexes	57
Résumé	62
Template startup	65

Introduction

Introduction

Le microbiote cutané est constitué de milliards de micro-organismes qui vivent à la surface de la peau et ont un rôle primordial dans la lutte contre les agents pathogènes, la régulation du système immunitaire et le maintien de l'homéostasie de la peau. Il comprend une variété de bactéries, de champignons et d'autres micro-organismes qui interagissent avec notre corps de manière symbiotique et complexe. Ce microbiote agit comme une barrière protectrice qui empêche les agents pathogènes de coloniser la peau et de contribuer à la santé globale de la peau. Dans certains cas, cette barrière est perturbée, ce qu'on appelle la dysbiose cutanée. Plusieurs études ont montré que la dysbiose du microbiote cutané est associée à de nombreuses pathologies de la peau. Par exemple, une étude de (**Gao et al. 2015**) a révélé que les patients atteints de psoriasis présentaient une diminution de 50% de la diversité du microbiote cutané et une augmentation de 30% de la proportion de bactéries pathogènes comme *Staphylococcus aureus*. Une autre étude de (**Kong et al. 2012**) a observé que les patients souffrant de dermatite atopique avaient une diminution de 25% de la proportion de bactéries commensales comme *Staphylococcus epidermidis*.

D'autre part, l'utilisation de produits cosmétiques peut également perturber l'équilibre du microbiote cutané. Une étude de (**Lv et al., 2018**) a montré que l'application de certains conservateurs cosmétiques comme le phénoxyéthanol ou les parabènes pouvait inhiber la croissance de 60% des bactéries commensales tout en favorisant la prolifération de 40% des bactéries pathogènes. Une autre étude de (**Bousslimani et al. 2019**) a observé que l'utilisation quotidienne d'un produit de soin pour la peau pouvait modifier la structure de la communauté microbienne faciale, avec une augmentation de 35% de l'abondance relative de *Cutibacterium* et *Staphylococcus*.

Malgré l'essor de l'industrie cosmétique et les risques avérés, la sécurité des cosmétiques et leur impact sur le microbiote cutané sont encore souvent négligés. Les normes et systèmes d'évaluation actuels pourraient s'avérer insuffisants, car de nombreux cosmétiques contiennent encore des ingrédients controversés. Ces ingrédients, tels que les perturbateurs endocriniens et les irritants, peuvent déséquilibrer le microbiote cutané.

Face à cette problématique, il est urgent de mieux comprendre l'interaction entre les cosmétiques et le microbiote cutané. Le développement de méthodes d'évaluation innovantes, comme les systèmes de suivi du microbiote en temps réel, permettra d'identifier les

formulations les plus sûres et de restaurer la confiance des consommateurs dans une industrie qui reste trop opaque sur ces enjeux de santé publique.

Dans ce contexte, le développement d'un système automatisé pourrait permettre de mieux évaluer l'impact des produits cosmétiques sur la charge bactérienne de la peau et donc la sécurité de leur utilisation. Le dispositif électronique, basé sur une plateforme Arduino, surveillera en temps réel les modifications du microbiote cutané en réponse à l'application de différents produits cosmétiques. Notre étude a comme objectifs d'étudier l'effet des cosmétiques sur le microbiote cutané et d'automatiser l'évaluation de la charge bactérienne à l'aide d'un système de surveillance basé sur Arduino afin de mettre en œuvre un modèle de validation de la sécurité des cosmétiques.

Ce mémoire est divisé en 3 chapitres, chaque chapitre étant divisé en deux parties : microbiologique et électronique. Dans le premier chapitre, nous présentons une revue bibliographique, dans la première partie, on parle de la structure de la peau et de quelques définitions sur le microbiote cutané, les cosmétiques et leurs types, et dans la deuxième partie quelques généralités sur les composants électroniques et une idée générale sur la plateforme Arduino seront entamés. Le deuxième chapitre porte la méthodologie expérimentale. Les résultats expérimentaux sont présentés et discutés dans le troisième chapitre. Enfin, une conclusion est donnée et des perspectives potentielles pour des travaux futurs seront également proposées, ouvrant ainsi des possibilités de développement à la suite de cette étude.

Synthèse

Bibliographique

Partie I

Partie

microbiologique

I.1 Peau et microbiote

Avec une superficie de plus de 2 mètres carrés, la peau est le plus grand organe du corps humain et aussi le plus lourd, pesant 4 à 10 kg chez un adulte. Cet organe joue un rôle important dans la vie humaine. En effet, la peau contribue à la protéger de l'environnement extérieur, joue un rôle dans la régulation thermique de l'organisme, est responsable de la synthèse des hormones, et a également une fonction immunitaire ...etc (**Blaser, 2010**).

La peau (figure I.1) agit comme une triple barrière protectrice qui sont (**Blaser, 2010**) :

- ✓ **Une barrière physique** : qui protège les organes internes de l'environnement extérieur.
- ✓ **Une barrière chimique** : qui forme une surface agressive envers de nombreux micro-organismes.
- ✓ **Une barrière immunitaire** : qui permet de résister à la colonisation et à l'infection par des microbes pathogènes.

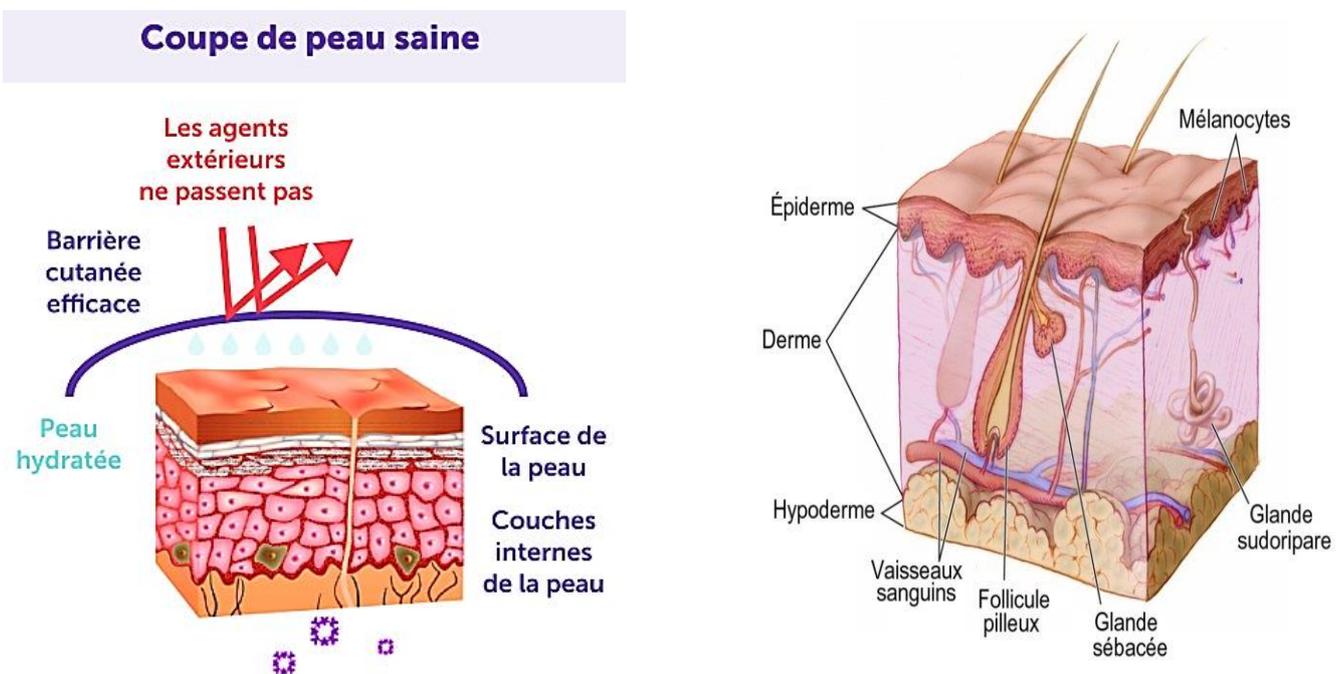


Figure I. 1: Structure de la peau

I.1.1 Définitions

I.1.1.1 Microbiote

Le microbiote humain est défini comme les groupes de micro-organismes présents dans un tissu, qu'ils soient commensaux et symbiotiques, pathogènes facultatifs ou obligatoires : bactéries, virus, parasites et espèces fongiques. Ces bactéries sont dites commensales, c'est à dire qui ne provoque pas de maladies quand elles sont en symbiose. C'est la partie externe du microbiote de l'organisme humain. En effet, il existe plusieurs types de microbiotes chez l'Homme. Le microbiote est présent dans les différentes parties du corps dans lesquelles un épithélium est en contact avec le monde extérieur. On distingue le microbiote des voies respiratoires (bouche, pharynx et poumons), celui du tractus digestif (estomac et intestin), celui de l'appareil urogénital et enfin celui de la peau (**Goetz, 2016**).

I.1.1.2 Microbiote cutané

Ce microbiote joue un rôle crucial dans la santé de la peau, en protégeant l'épiderme contre les agressions externes et internes, en sécrétant des molécules antibactériennes et en participant au bon équilibre de la peau en ne laissant place qu'aux "bonnes bactéries". Il est également connecté au système immunitaire du corps humain, ce qui lui permet d'avoir une action réparatrice en stimulant le renouvellement des cellules et en luttant contre les divers agents infectieux en cas de blessure (**Foulon, 2024**).

Le microbiote cutané est relativement stable au cours du temps, mais subit des changements importants lors des grandes étapes de la vie, comme la naissance, l'adolescence et l'âge adulte. Il est influencé par de nombreux facteurs, tels que l'âge, le sexe, le système immunitaire, le pH, la température et l'hygiène corporelle (**MacLeod et al., 2009**). L'utilisation de produits cosmétiques peut également affecter le microbiote cutané, en modifiant la composition de la flore cutanée résidente et transitoire (**Harant, 2022**).

I.1.2 Types de microbiote cutané

Il existe deux catégories distinctes au sein du microbiote cutané (figure I.2) :

I.1.2.1 Flore cutanée résidente

Également connue sous le nom de flore commensale, désigne les micro-organismes qui habitent la peau sans causer de maladie chez l'hôte. Cette flore reste stable dans le temps, maintenue en équilibre par les conditions locales et leur propre métabolisme.

Elle se compose principalement de bactéries telles que *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Corynebacterium* et *Propionobacterium*, de virus tels que les *Papillomavirus*, de champignons comme *Malassezia*, et d'acariens tels que *Demodex folliculorum* (Harant, 2022).

I.1.2.2 Flore cutanée transitoire

Qui ne s'adapte pas aux conditions de la peau, y réside seulement pour une courte période, de quelques heures à quelques jours. Cette flore est saprophyte, se nourrissant de déchets, et peut être présente sur le corps et dans l'environnement. Bien que la plupart de ces micro-organismes soient inoffensifs, certains, tels que le *Staphylocoque aureus*, peuvent causer des maladies, notamment des infections nosocomiales. Les *Streptocoques*, *Pseudomonas* et *Candida albicans* sont également courants dans cette flore. Heureusement, leur croissance est régulée par la flore résidente, qui agit comme un défenseur naturel (Harant, 2022)

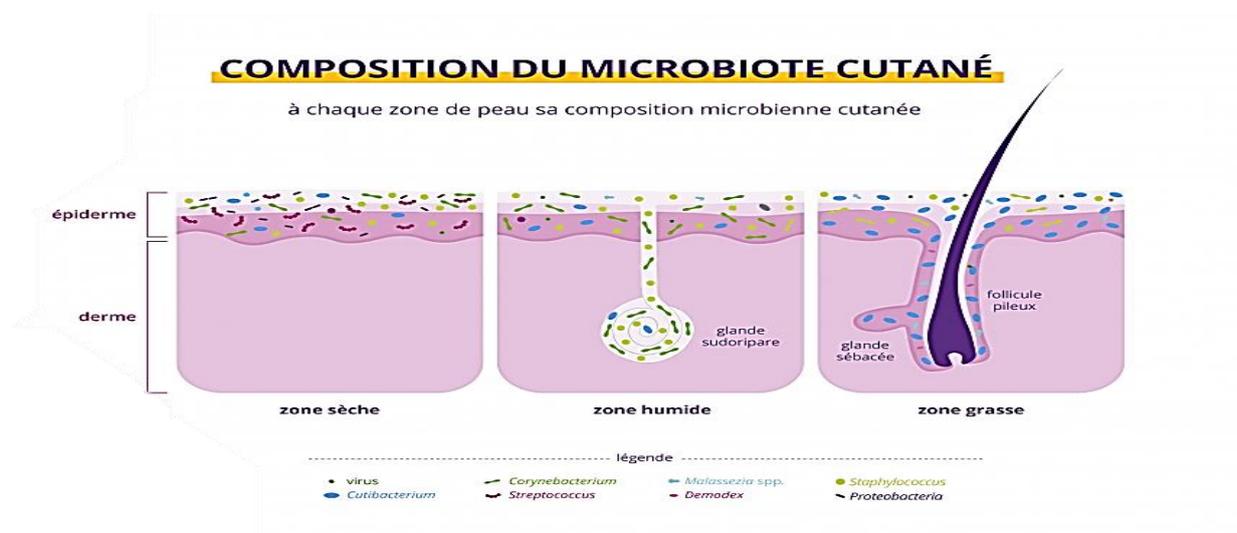


Figure I. 2: Composition du microbiote cutané

I.1.3 Microorganisme prédominant

La bactérie *Staphylococcus haemolyticus* est un membre clé du microbiote de la peau saine, jouant un rôle important dans la défense contre les pathogènes, la modulation du système immunitaire et la réparation des plaies (Brown et al., 2020).

I.1.3.1 Taxonomie

Domaine: *Bacteria*.

Phylum : *Firmicutes*.

Classe : *Bacilli*.

Ordre : *Bacillales*.

Famille : *Staphylococcaceae*.

Genre : *Staphylococcus*.

Espèce : *Staphylococcus haemolyticus* (Bes et al., 2002).

I.1.3.2 Caractères bactériologiques

• Caractères morphologiques

Ce sont des Cocci à gram+, en amas et immobiles.

• Caractères cultureux

Comme tous les *Staphylocoques*, son métabolisme respiratoire est aérobie-anaérobie facultatif. Les colonies apparaissent rondes bombées, en 18 heures, à 37°C. Leur taille est généralement grosse par rapport à celles d'autres SCN. Une hémolyse de type b apparaît sur gélose au sang de mouton, comme son nom peut l'indiquer. Sur le milieu de Chapman, les colonies sont majoritairement mannitol +.

• Caractères biochimiques

S. haemolyticus est catalase +, oxydase-.

S. haemolyticus est DNase négatif, son identification repose sur des tests biochimiques (galeries miniaturisées). Les caractères majeurs sont la présence de pyrrolidonyl-arylamidase (PyrA), d'arginine dihydrolase, l'absence d'uréase (URE), de phosphatase alcaline (PAL), d'ornithine décarboxylase (ODC) (CTCB, 2003).

I.2 Produits cosmétiques

I.2.1 Définition

Un produit cosmétique, au sens du Règlement (CE) n° 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques, est toute substance ou tout

mélange destiné à être mis en contact avec les parties superficielles du corps humain (épiderme, systèmes pileux et capillaire, ongles, lèvres et organes génitaux externes) ou avec les dents et les muqueuses buccales en vue, exclusivement ou principalement, de les nettoyer, de les parfumer, de les modifier l'aspect, de les protéger, de les maintenir en bon état ou de corriger les odeurs corporelles (**LE PARLEMENT EUROPÉEN, E. L. C., & DE, L. U. E. 2009**).

I.2.2 Types de produits cosmétiques

I.2.2.1 Produits cosmétiques synthétiques

Les produits cosmétiques synthétiques regroupent tous les produits de beauté contenant plus de 50% d'additifs et de composants chimiques. Ces composants proviennent soit d'un processus de transformation de matières naturelles végétales, animales ou organiques, soit d'une étude expérimentale. Les éléments utilisés dans ces produits de beauté sont presque identiques à ceux présents dans les produits cosmétiques naturels. Ces composants chimiques ont été conçus pour offrir les mêmes avantages thérapeutiques que les produits naturels. Les soins de beauté synthétiques ont l'avantage d'être plus efficaces que les produits cosmétiques naturels. Ils offrent la possibilité d'obtenir des résultats remarquables dans un temps plus court. Il est important de les utiliser de manière modérée afin d'éviter de contracter différents problèmes.

Les manifestations les plus courantes sont les réactions allergiques, l'irritation de l'épiderme et les brûlures. Les effets indésirables causés par ces produits sont assez similaires à ceux causés par les produits de beauté naturels. La raison est simple : tous les produits de beauté, naturels ou synthétiques, peuvent provoquer une réaction indésirable si l'on ne les utilise pas correctement ou s'ils contiennent des composants qui ne conviennent pas à la nature de la peau (**Hallis, 2022**).

I.2.2.2 Produits cosmétiques naturels

Le concept de naturel en cosmétique fait l'objet de débats. En réalité, aucun règlement n'établit de manière précise ce qu'est un produit cosmétique naturel. Il est constitué d'éléments naturels ou provenant de la nature : végétaux, animaux ou minéraux. La majorité de ces ingrédients ne sont pas utilisables à l'état brut, ils doivent donc être transformés. Un produit cosmétiques naturel réduit l'emploi d'ingrédients chimiquement modifiés en utilisant des méthodes de transformation plus traditionnelles et moins néfastes pour l'environnement, telles que la distillation. Afin de résoudre cette confusion, les organismes de certification offrent leur propre certification naturelle en se basant sur leurs critères spécifiques (**Hallis, 2022**).

Partie II

Partie électronique

I.3 Définition

I.3.1 Surveillance Intelligents

Les avancées technologiques dans le domaine de l'électronique et de l'informatique ont permis le développement de systèmes de surveillance intelligents tel que Le domaine térahertz appelé aussi « infrarouge lointain » (**Rousset et al., 2023**) systèmes RSS système de forage (**Baden et al., 2015**). Dans ce contexte, les plateformes open-source telles qu'Arduino a révolutionné la création de solutions personnalisées et abordables.

Différentes approches de l'intégration des différents algorithmes de vision pour construire un système de surveillance complet, les principaux objectifs de ces systèmes sont les suivants de fournir une interprétation automatique des scènes et de comprendre et de prédire les actions et interactions des objets observés sur la base des informations acquises par des capteurs (**Denziak et al., 2016**).

I.3.1.1 Carte Arduino

Arduino est une plateforme open-source utilisée pour la construction et la programmation d'appareils électroniques. Il utilise un matériel appelé Arduino uno, un logiciel et une carte de circuit imprimé (figure I.3) qui peut aider à lire des informations provenant de dispositifs d'entrée tels que : capteurs, antennes, potentiomètres, etc... Et peut également envoyer des informations à des dispositifs de sortie tels que des LED (**Tutoduno, 2024**).

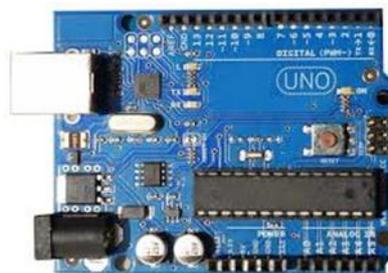


Figure I. 1 *Figure I. 2* **Figure I. 3:** Carte Arduino uno

I.3.1.2 Capteurs

I.3.1.2.a Capteur d'humidité-Température DHT22

DHT22 (figure I.4) est un capteur qui mesure la température et l'humidité relative, le formulaire de sortie est les signaux numériques ont 4 broches : alimentation, signal de données, zéro et masse (**Tutoduino, 2024**). Le DHT22 est plus précis que le DHT11 sachant que l'erreur relative du DHT11(figure I.3) est de 4 % pour la température et de 18 % pour l'humidité (**Joannis et al., 2010**)

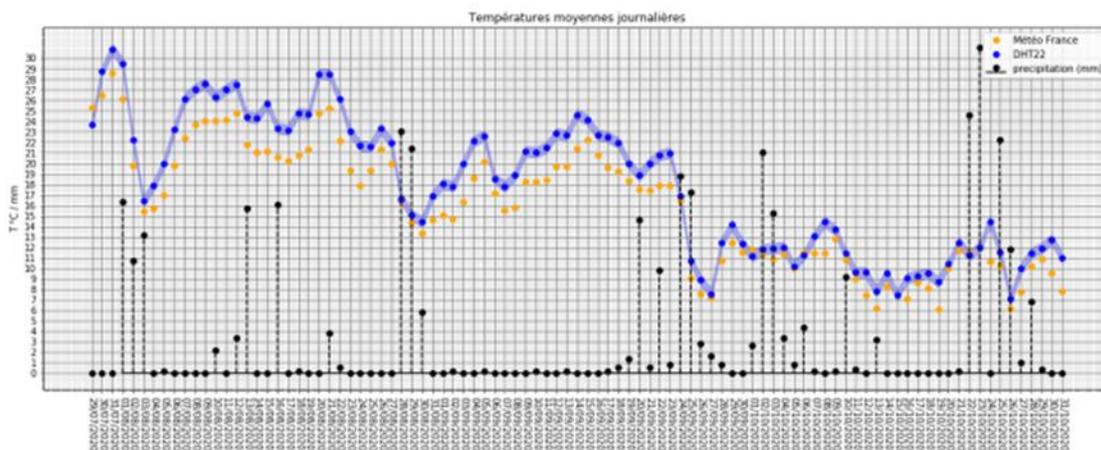


Figure I. 4: Comparaison des températures moyennes journalières du capteur DHT22 aux données Météo France



Figure I. 5: Capteur DHT22

I.3.1.2.b Capteur de turbidité TS-300B

Le capteur permet d'obtenir en continu et en temps réel une information sur la charge particulaire et le vecteur de la pollution dans les réseaux d'assainissement (**Joannis et al., 2010**). Elle consiste à mesurer la lumière diffusée par des particules dans une direction choisie,

par exemple, en rétrodiffusion, en diffusion latérale (Sequoia Scientific, 2024) à l'intérieur du capteur. Ces capteurs suscitent un intérêt croissant de la part des chercheurs et des services opérationnels (Maréchal et al., 2001 ; Laurent et al., 2006).



Figure I. 6: Capteur de turbidité

I.3.1.3 Module relais thermique 5 V

Un relais est un composant électromécanique qui ouvre ou ferme les contacts.



Figure I. 7: Relais thermique

I.3.1.4 Humidificateur brumisateurs super ultrasons

La vaporisation est utilisée pour augmenter l'humidité de l'air à l'entrée de l'étage si nécessaire à l'entrée de l'humidificateur (LEXTRONIC. n.d.) qui fonctionne sur 5V et alimenté via USB.

La carte est équipée d'une plaque d'atomisation, qui présente les caractéristiques d'une faible impédance d'une forme d'onde stable et d'une efficacité de conversion de puissance élevée.

Elle est équipée d'un anneau pour produire un port d'atomisation et un trou de buse de taille moyenne. De plus, la surface de la feuille de l'atomiseur est recouverte d'une couche d'argent

anti-oxydation pour assurer une protection à long terme du processus de revêtement et prolonger la durée de vie de l'appareil (Powertech-dz.net. n.d.).



Figure I. 8: Humidificateur

I.3.1.5 Électrovanne

L'Électrovanne eau-liquide avec un Arduino offre un moyen passionnant d'automatiser d'un système de contrôle des fluides. Il est essentiel dans de nombreux systèmes fluidiques nécessitant un écoulement unidirectionnel (**Bouhouch, 2024**). Lorsqu'il est interfacé avec une carte Arduino telle que l'Arduino UNO, il permet un contrôle précis du débit de liquide (**Bouhouch, 2024**).

I.3.1.6 Ventilateur

Un ventilateur est un dispositif de refroidissement électrique qui fonctionne à une tension de 5 volts, utilisé pour faire circuler le débit d'air désiré (**Ben Amara, et al., 2003**).



Figure I. 9: Ventilateur

I.3.2 Programmation

I.3.2.1 Structure globale du programme (Arduino IDE)

Comme tout langage de programmation, l'interface flexible et simple (Zinedine et al., 2017) et peut être exécuté sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation C (figure I.9).

I.3.2.2 L'interface IDE :

L'interface du logiciel se présente de la façon suivante :

1. Options de configuration du logiciel.
2. Boutons pour la programmation des cartes.
3. Zone pour programmer.
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation).
5. Partie déclaration de variables (globales).
6. Initialisation « Void Setup () {} » : Au démarrage de l'Arduino toutes les instructions comprises entre les deux accolades serrent exécuter qu'une seul fois.
7. Boucle principale « Voidloop () {} » : Les instruction sont répéter indéfiniment tant que l'Arduino fonctionne.

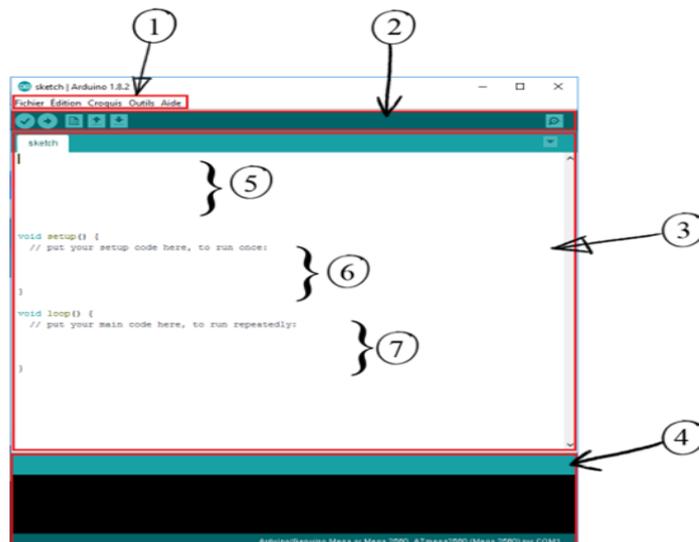


Figure I. 10: Interface IDE

I.3.2.3 Téléversement du code

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage similaire à C). Une fois le programme saisi ou modifié au clavier, il est téléverser et stocké dans Connectez la carte via USB (Interface-Z, Z. C. n.d).

MATERIEL

Et

METHODES

Notre travail vise à programmer un système basé sur des expériences réelles pour étudier l'impact de deux produits cosmétiques à base d'aloé vera sur le microbiote cutané de main et de visage afin de faire une modélisation parmi nous faisons un logiciel estimant l'effet de produits sur les bactéries de la microflore cutanée.

II.1 Objectifs

La présente étude expérimentale a pour objectifs de :

- Étudier l'impact des cosmétiques sur le microbiote cutané ;
- Automatiser l'évaluation de la charge bactérienne par l'utilisation d'un système de surveillance basé sur Arduino ;
- Vérifier de la sécurité des produits cosmétiques dans un temps réduit.

II.2 Lieu et durée du travail

La démarche expérimentale a été réalisée durant une période qui débute de 19.02.2024 jusqu'au 26.06.2024 au niveau du laboratoire de microbiologie de l'université Ibn Khaldoun (karman) - Tiaret-.

II.3 Protocole expérimental

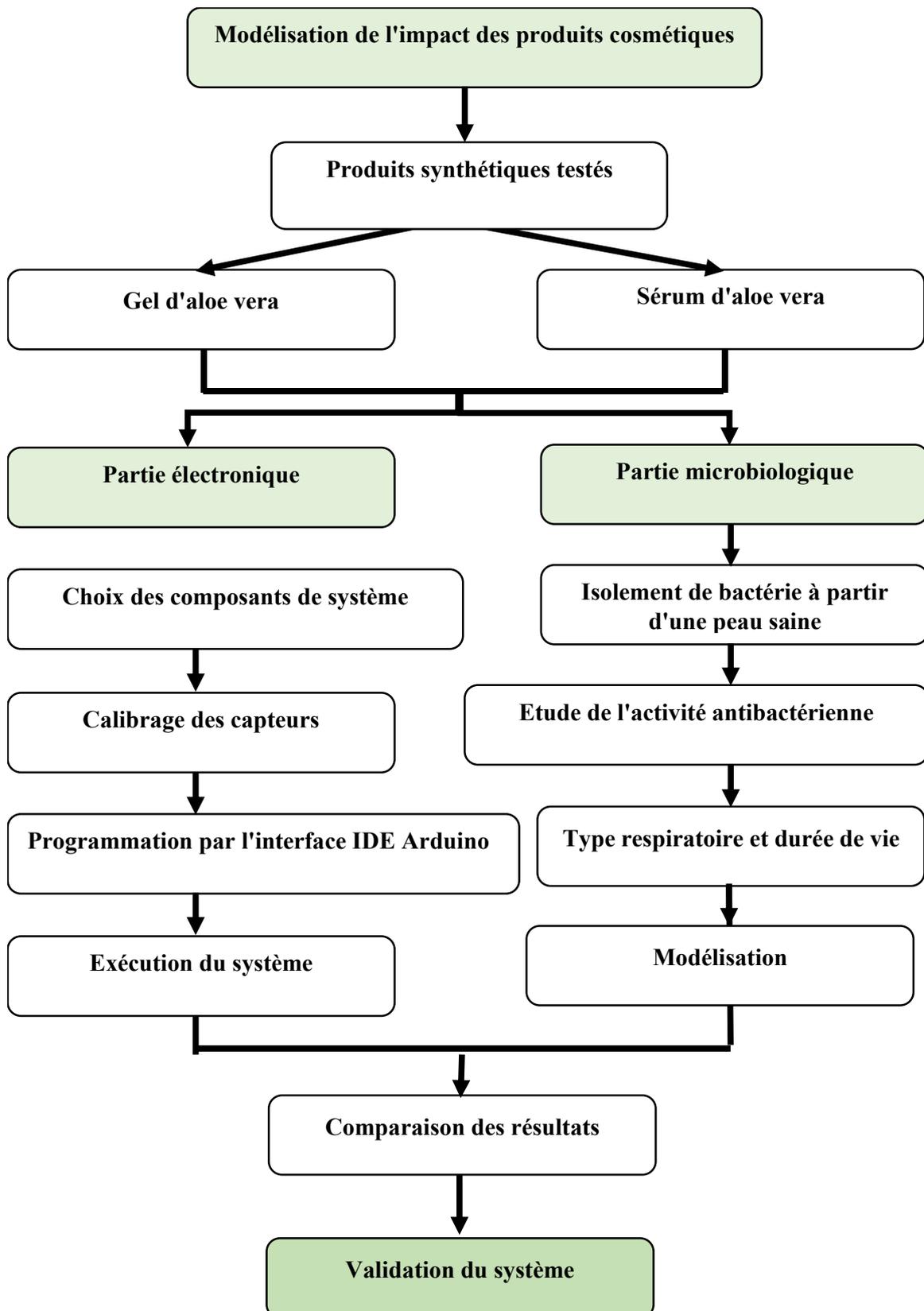


Figure II. 1 : Organigramme de la démarche expérimentale

II.4 Matériels et produits utilisés

II.4.1 Partie microbiologique

Le matériel et les produits utilisés dans cette étude sont illustrés dans le tableau II.1.

Tableau II. 1: Produits utilisés

Appareillages	Verreries	Produits utilisés
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Plaque chauffante ✓ agitatrice ✓ Bain mari ✓ Balance analytique ✓ Barreau magnétique ✓ pH mètre ✓ Étuve ✓ Stérilisateur ✓ Spectrophotomètre UV-vis 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Béchers ✓ Éprouvettes graduées ✓ Fioles jaugées ✓ Pipettes ✓ Erlenmeyer ✓ Pipettes pasteur ✓ Tubes à essais ✓ Boîtes pétries ✓ Entonnoirs 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Acide sulfurique ✓ Chlorure de baryum ✓ Eau distillée ✓ Acide chlorhydrique à 0,01 N ✓ Solutions tampons de calibration de pH ✓ Hydroxyde de sodium à 0.01N ✓ Eau oxygénée ✓ Milieu Muller Hinton ✓ Milieu Chapman

II.4.2 Partie électronique

La liste des composants électroniques utilisés sont illustrés dans le tableau II.2

Tableau II. 2: Liste des composants électroniques

Capteurs	Actionnaires	Autres matériels
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capteur de turbidité ✓ Capteur de PH ✓ Capteur DHT22 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Humidificateur ✓ Gouttières ✓ Ventilateur 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Carte Arduino ✓ Fils électriques ✓ Microordinateur ✓ Tuyau ✓ Plaque en Verre ✓ Rouleau d'isolation thermique

Partie 1 : Microbiologique

II.5 Produits cosmétiques testés

Pour sélectionner les produits à tester, nous avons réalisé un questionnaire (figure II.2) en ligne de 26 questions via Google Forme.



Figure II. 2: Interface de questionnaire sur google forme

II.6 Echantillonnage

Les échantillons ont été prélevés dans un groupe de 20 volontaires sélectionnés au hasard et vivants dans la région de Tiaret.

II.7 Prélèvements

Les différents prélèvements ont été effectués (figure II. 3) en passant un écouvillon stérile sur la peau des volontaires. On humidifie l'écouvillon avec l'eau physiologique stérile et éliminer l'excès de liquide en pressant légèrement le coton sur la peau puis on ensemence dans des tubes contient bouillon nutritif stérile dans des conditions stériles et être incubés à 37°C pendant 24 heures à 48 heures jusqu'à l'apparition de culture bactérienne.



Figure II. 3: Etapes de prélèvement

II.8 Etude bactériologique

Après prélèvement, les échantillons ont été ensemencés sur le milieu de culture Chapman (figure II. 4) qui est un milieu sélectif des *staphylocoques* qui différencie la fermentation du mannitol permettant une orientation des *Staphylocoques* (**Annexe A1**).

II.8.1 Etude macroscopique de caractères cultureux

L'étude des caractères visibles à l'œil nu (formes, taille, couleur et aspect des colonies) a été réalisée après 24 heures d'incubation à 37°C (**Chibi, 2015**).



Figure II. 4: Encensement par strié sur gélose Chapman

II.8.2 Examen microscopique

Coloration de Gram

La coloration de Gram est utilisée pour différencier les bactéries en deux groupes principaux : les bactéries Gram-positives et les bactéries Gram-négatives, selon leur affinité pour certains colorants et la structure de leur paroi cellulaire et d'après leur forme (**Mendaci et Mihoubi, 2015**).

Mode opératoire

- ✓ Etaler les bactéries sur une lame de verre (**Annexe A2**)
- ✓ Les fixer par la chaleur

- ✓ Les colorer successivement avec une solution de violet de gentiane, la liqueur de Gram, ou solution de Lugol (mélange d'iode et d'iodure de potassium)
- ✓ Traiter avec un solvant organique, tel que l'alcool.
- ✓ Procéder à une contre-coloration avec un colorant rose, comme la safarine.
- ✓ Faire une lecture observée au microscope (Objectif à immersion × 100)
 - Les bactéries Gram (-) sont colorées en rose
 - Les bactéries Gram (+) apparaissent en violet foncé

II.8.3 Etude du caractère biochimique

II.8.3.1 Test catalase

Il permet la détection de l'enzyme « catalase » qui catalyse la dégradation de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) avec dégagement d'oxygène selon la réaction suivante (**Boumelit et Chenatlia, 2014**) :



Mode opératoire

- Placer une goutte de peroxyde d'hydrogène à 3% sur une lame de verre propre et sèche.
- Prélever une petite quantité de la suspension bactérienne à l'aide d'une anse de métal stérile
- Déposer la suspension bactérienne prélevée dans la goutte de peroxyde d'hydrogène sur la lame de verre.
- Mélanger doucement la suspension bactérienne avec le peroxyde d'hydrogène en effectuant des mouvements de rotation avec l'anse.

II.8.3.2 Test coagulase

Le test de la coagulase différencie les souches de *Staphylococcus aureus* des autres espèces à SCN (*Staphylococcus coagulase négative*) (**Patricia et al., 2002**).

Mode opératoire

- Préparation une suspension bactérienne fraîche.
- Préparation du plasma de cheval (figure II. 5)
- Ajouter une petite quantité de la suspension bactérienne préparée dans un tube contenant du plasma.
- Incuber le tube à une température de 37°C pendant 24 heures.

- Lecture des résultats : on observe les résultats pendant les premières 4heurs et après 24 heures.



Figure II. 5: Etapes de préparation du test coagulase

II.8.3.3 Test ADNase

Le test de la désoxyribonucléase (DNase) est utilisé pour déterminer la capacité d'un organisme à hydrolyser l'ADN et à l'utiliser comme source de carbone et d'énergie pour sa croissance. Il est principalement utilisé pour différencier *Staphylococcus aureus* des autres *staphylocoques* (Tille & Forbes ,2014).

Mode opératoire

- Préparer des boîtes pétries contenant la gélose ADNase et les laisser refroidir jusqu'à leurs solidifications.
- Prélever une petite quantité de culture bactérienne à tester à l'aide d'une anse stérile.
- Étaler la culture sur la surface de la gélose l'ADNase.
- Incuber à 37°C pendant 18 à 24 heures (figure II. 6).
- Ajouter une quantité de HCl à la surface des boîtes.

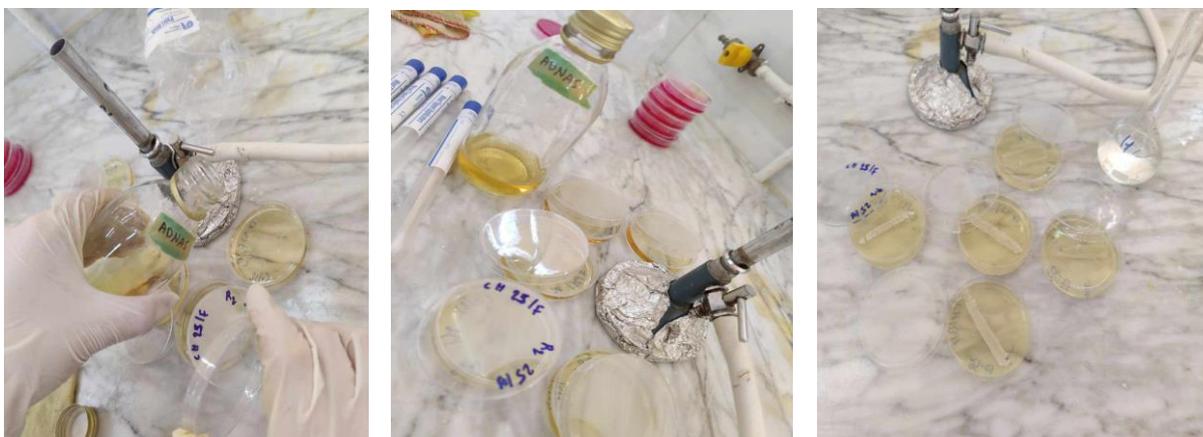


Figure II. 6: Etapes de test ADNase

II.8.3.4 Test mannitol mobilité

Il est basé sur une fermentation du mannitol ; mobilité et la réduction des nitrates (**Boulsse et al., 2016**).

Mode opératoire

Le test de mannitol et de la mobilité (figure II. 7) sont fait par piqûre centrale jusqu'au fond du tube de la souche à tester à l'aide d'une pipette pasteur. Puis incubé à 37 C° durant 24 heures. La fermentation du mannitol provoque un virage de la coloration du milieu vers le jaune. Les bactéries mobiles envahissent tout le milieu à partir de la piqûre centrale.



Figure II. 7: Test mannitol

II.8.3.5 Galerie API Staph

Les micro-tests de galerie API Staph remplis par une suspension bactérienne contenue dans API Staph Medium. La lecture se fait à l'aide du tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du catalogue analytique ou d'un logiciel d'identification (**BioMérieux SA, "API-STAPH", 2017, Marcy-l'Etoile, France**).

Mode opératoire

- Réunir le fond et le couvercle d'une boîte d'incubation et répartir environ 5 mL d'eau distillée dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide.
- Sortir la galerie de son emballage individuel.
- Placer la galerie dans la boîte d'incubation.
- Ouvrir l'ampoule d'API Staph Medium et préparer une suspension bactérienne homogène, à 0,5 de McFarland.
- Remplir les tubes de la galerie avec API Staph Medium ensemencé.
- Incuber à 37 °C pendant 18-24 heures (figure II. 8).
- Ajout de réactifs (VP 1 et 2, NIT 1 et 2, ZYM A et B).

- Utiliser le tableau de lecture pour interpréter les réactions colorées.
- Identifier les bactéries par un logiciel d'identification.

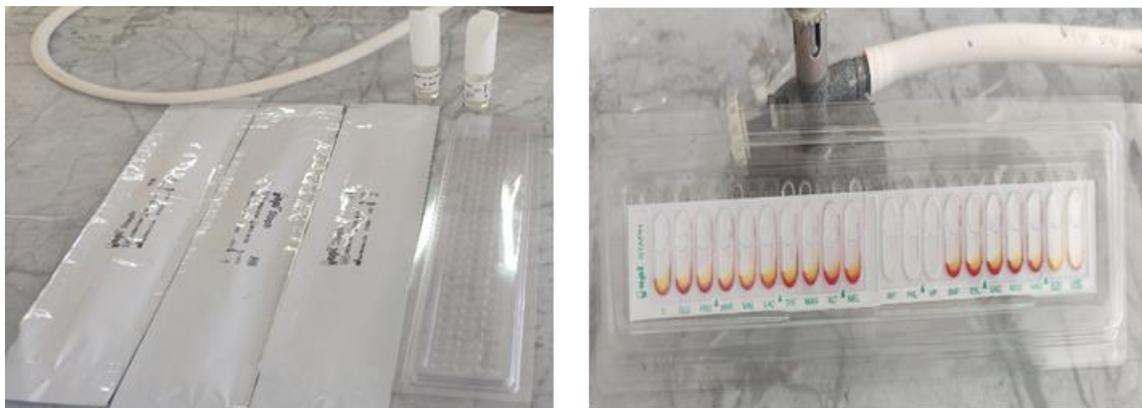


Figure II. 8: Etapes de galerie API Staph

II.9 Activité antibactérienne

II.9.1 Étape 1 : Détermination de la CMI (Méthode de dilution en liquide)

La CMI (concentration minimale inhibitrice) est la concentration la plus faible d'un agent antimicrobien, exprimée en mg/L ($\mu\text{g/ml}$), qui empêche complètement la croissance visible d'une souche bactérienne dans des conditions *in vitro* strictement contrôlées (**Kowalska et al., 2021**). Deux techniques ont été réalisées, à savoir :

II.9.1.1 Technique 1 (dilution avec MH)

On prépare une gamme de concentrations décroissantes par dilutions successives de raison 1/2 à partir d'une solution mère du sérum et du gel d'aloé vera dilué dans milieu Muler Hinton (figure II.9). Ajuster la turbidité de l'inoculum à un standard McFarland de 0,5 en utilisant un spectrophotomètre réglé à 625nm, garantissant une concentration bactérienne standardisée.

Puis ajouter 1 ml de la suspension bactérienne standardisée à chaque tube à essai et inclure un contrôle positif (la bactérie sans produit cosmétique) et 2 contrôles négatifs (1 en milieu M-H et l'autre un produit cosmétique sans inoculum) pour garantir la validité des résultats. Incuber les tubes à essai à 37°C pendant 18 à 24 heures dans un incubateur. Après l'incubation, observer et lire la densité optique par le spectre.

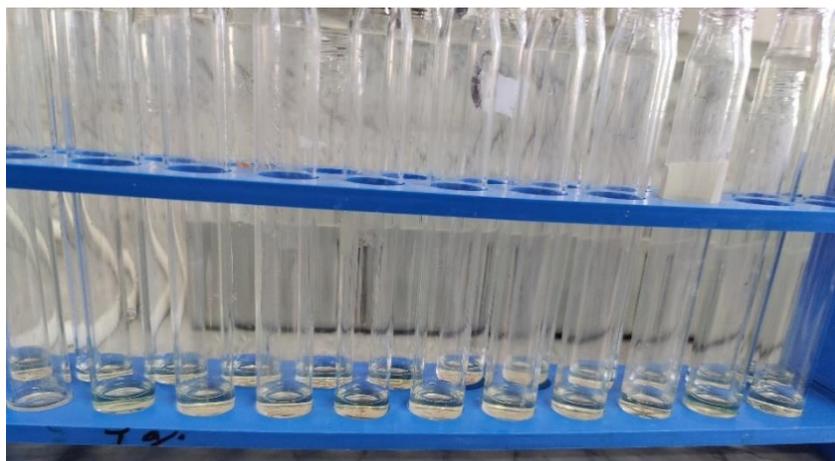


Figure II. 9: Préparation de la série du macrodilutions

II.9.1.2 Technique 2 (dilution par le DMSO)

- Préparer une série de concentrations dans des Eppendorf comme dans le cas de la technique précédente.
- Ensemencer les bactéries dans gélose MH en utilisant un écouvillon.
- Prélever 10 μ l de chaque dilution préparée et les déposer sur des disques stériles placés dans une boîte pétrie contenue de gélose MH.
- Répéter l'opération pour chaque dilution en utilisant des zones distinctes pour chaque condition testée.
- Inclure un contrôle positif (inoculum bactérien sans produits cosmétiques) et 2 contrôles négatifs (milieu de culture MH stérile uniquement et un disque de DMSO) (figure II.10).
- Incuber à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

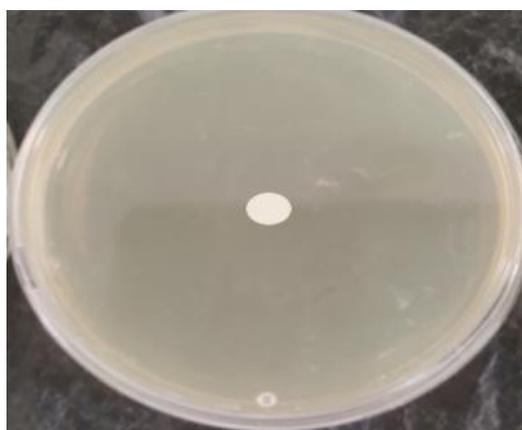
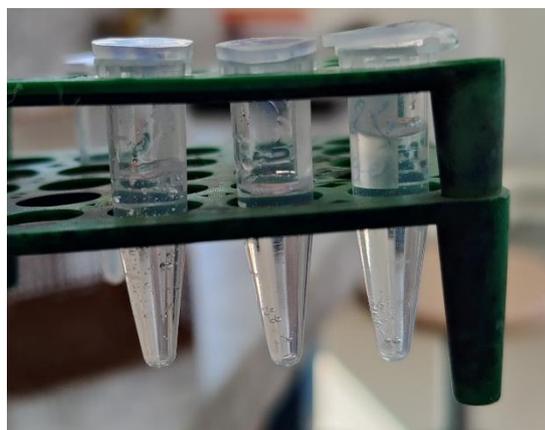


Figure II. 10: Etapes de la 2^{ème} technique

Les résultats sont déterminés en mesurant le diamètre d'inhibition à l'aide d'une règle en mm. Les diamètres des zones d'inhibition indiquent la sensibilité selon la règle suivante (**Hamidi, 2013**) :

- Insensible (-) ou résistante : Diamètre < 8 mm.
- Sensible (+) : Diamètre entre 9 et 14 mm.
- Très sensible (++) : Diamètre compris entre 15 et 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++++) : > 20 mm

II.9.2 Étape 2 : Détermination de la CMB (Méthodes de dilution dans la gélose)

La CMB (concentration minimale bactéricide) représente la concentration minimale d'un agent antimicrobien nécessaire pour tuer 99,9% des bactéries d'un inoculum initial. Elle est déterminée en dénombrant les colonies bactériennes survivantes après exposition à différentes concentrations de l'agent antimicrobien (**Wikler, 2006**).

La CMB correspond à la plus petite concentration du produit capable d'éliminer l'ensemble des bactéries viables (figure II.11).

- Préparer la gélose M H dans des boîtes pétries
- Prélever 1 ml de chaque tube et diluer à 10^{-1} ,ensemencer en surface et ajouter 100 μ l de solution bactérienne et les distribuer à travers un râteau stérile
- Incuber à 37°C pendant 18 à 24 heures.
- Compter le nombre de colonies bactériennes.



Figure II. 11: *Technique de macro-dilution sur milieu solide pour déterminer CMB*

II.10 Type respiratoire et durée de vie

- On Prépare 2 séries, d'une part, 2 tubes contenant la concentration fixée (CMI) du 2 produits à pH 5,75, et d'autre part, 2 tubes contenant l'eau physiologique puis en ajoutant 1 ml d'inoculum ajusté à 0,5 McFarland dans tous les tubes.
- On ajoute de l'huile de paraffine à l'un des 2 tubes (figure II. 12).
- On Incube les tubes à essai à 37 °C pendant quelques jours.



Figure II. 12: Test de type respiratoire

II.11 Modélisation

La modélisation en microbiologie est un processus qui consiste à créer une représentation mathématique simplifiée du comportement des micro-organismes dans différents environnements, comme les aliments. Cette représentation, appelée modèle, permet de mieux comprendre et prédire l'évolution des populations microbiennes en fonction de facteurs environnementaux tels que la température, le pH, l'activité de l'eau, etc (Jay *et al.*, 2006).

Afin de connaître l'influence de chaque paramètre sur la bactérie, nous avons choisi de modéliser la variation relative à charge bactérienne en fonction des facteurs tels que le pH, la température et la charge bactérienne. Afin de les étudier, on fixe deux paramètres et on fait varier un autre selon les conditions naturelles de la peau (pH de la peau entre 4,7 et 5,75 ; température de la peau 37 et la concentration des produits et la CMI étudiés).

Les résultats sont déterminés en mesurant la densité optique par UV visible après 24 heures, 48 heures, 120heures et 144 heures de contact avec les deux produits étudiés.

II.11.1.1 Température

Trois températures ont été sélectionnées : 4 °C, 37 °C et 65 °C.

- On prépare 3 tubes de solution de concentration du produit testé à pH de 5.75 et après on ajoute 1 ml d'inoculum ajusté à 0.5 McFarland.
- On suit les mêmes étapes pour l'autre produit et on travaille en triplicata.
- On Incube les tubes à essai à 4 °C, 37 °C et 65 °C pendant 18 à 24 heures, respectivement, dans un réfrigérateur, un incubateur et un four pasteur.

II.11.1.2 pH

Cinq valeurs différentes pH ont été étudiées (2,4,6,8,9) (figure II.13).

- Préparer deux solutions de HCl et de NaOH à 0,01 N.
- Préparer 2 tubes pour chaque pH contenant la même concentration du produit
- Ajuster le pH et ajouter 1 ml d'inoculum bactérien à 0,5 McFarland.
- Répéter les mêmes étapes pour l'autre produit avec répétition en duplicata.
- Incuber les tubes à essai à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

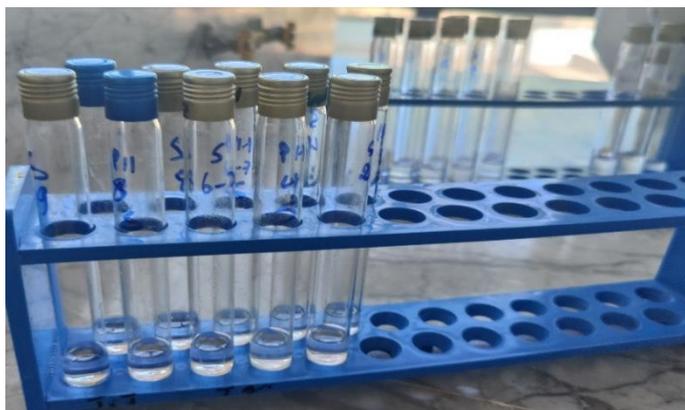


Figure II. 13: Séries de pH testé

II.11.1.3 Charge bactérienne

- Ajuster la turbidité de l'inoculum aux standards McFarland de 0.5, 1 et 2 en utilisant un spectrophotomètre réglé à 625 nm puis ajouter une quantité de produit à une concentration connue.
- Répéter les mêmes étapes pour l'autre produit.
- Incuber les tubes à essai à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

Partie 2 : Electronique

II.12 Calibrage du capteur

Pour un système de contrôle des paramètres physicochimiques tels que l'humidité, la température et le pH nécessitant une précision très stricte, il est essentiel de calibrer les capteurs soigneusement pour garantir des mesures exactes (**Fahad, 2024**).

II.12.1 Calibration de capteur de pH mètre

- Allumer le pH-mètre et laissez-le se stabiliser pendant 20 min
- Rincer soigneusement la sonde de pH avec de l'eau distillée pour éliminer toute contamination.
- Calibrer au point Zéro (Solutions Tampons à des pH 4.0, pH 7.0 et pH 10.0)
- Immerger la sonde de pH dans une solution tampon.
- Noter le voltage mesuré par l'Arduino.
- Noter le voltage mesuré par l'Arduino.
- Tracer une courbe d'étalonnage pH en fonction de voltage (**Annexe A4**).

II.12.2 Calibration de capteur de turbidité

- Préparer des solutions McFarland standard à différentes concentrations (0.5, 1, 3 et 4 McFarland) conformément aux protocoles établis.
- Mesurer la densité optique avec le spectrophotomètre et enregistrer les valeurs de turbidité pour chaque concentration.
- Utiliser le capteur de turbidité pour mesurer les voltages produits par chaque solution McFarland.
- Tracer un graphique des voltages mesurés par rapport aux concentrations de McFarland.
- Ajuster une courbe aux données en utilisant une méthode de régression appropriée
- Valider les valeurs déterminées par le capteur.

Ce système est spécifiquement conçu pour maintenir les conditions optimales pour la croissance de *staphylococcus heamoliticus*, en équilibrant le pH, en corrigeant les variations de température et d'humidité, tout en surveillant la multiplication des bactéries.

II.13 Montage de système

II.13.1 Mise en place des cuves

II.13.1.1 Assemblage de la première cuve

- Prendre 04 plaques de verre de surface (25x25) cm²
- Former un carré en les assemblant avec un adhésif de verre, comme la colle de silicone.
- S'assurer que les joints sont bien scellés pour éviter les fuites.

II.13.1.2 Assemblage de la deuxième cuve

- Utiliser quatre autres plaques de verre de surface (30x30) cm².
- Former un carré plus grand en les assemblant de la même manière.
- Bien sceller les joints avec de la colle de silicone

II.13.1.3 Stérilisation des cuves

- Nettoyer soigneusement les deux cuves avec un désinfectant approprié.
- Rincer abondamment avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu de désinfectant.
- Stériliser les cuves en utilisant une solution stérilisante suivie d'un rinçage à l'eau stérile.



Figure II. 1: Emplacement les deux cuves

II.13.2 Installation des ventilateurs

- Utiliser un marqueur pour dessiner les contours des ventilateurs sur la paroi.
- Couper la paroi selon les contours dessinés en utilisant un outil approprié.
- Fixer les ventilateurs dans leur place et assurer leur stabilité (figure II.15)



Figure II. 2: Fixation de ventilateur et l'isolant thermique

II.13.3 Application de l'isolant

- Découper l'isolant aux dimensions nécessaires pour s'adapter parfaitement à l'intérieur de la grande cuve.
- Recouvrir l'intérieur de la grande cuve avec l'isolant, en veillant à bien couvrir toutes les parois internes.
- Fixer l'isolant à l'aide d'un adhésif approprié pour garantir une adhérence optimale.
- S'assurer que l'isolation est uniforme et complète pour maximiser l'efficacité thermique.

II.13.4 Configuration et fonctionnement du système

- Placer tous les composants dans le système (figure II.16).
- Sortir les fils à l'extérieur à travers un port trouvé dans la cuve pour les relier à l'alimentation et aux autres composants.
- Fermer toutes les fuites avec un isolant thermique pour assurer la fermeture de la cuve.
- Mettre un béccher à l'intérieur de la cuve.
- Alimenter et connecter la carte Arduino au PC.
- Laisser l'expérience se dérouler pendant 24 heures

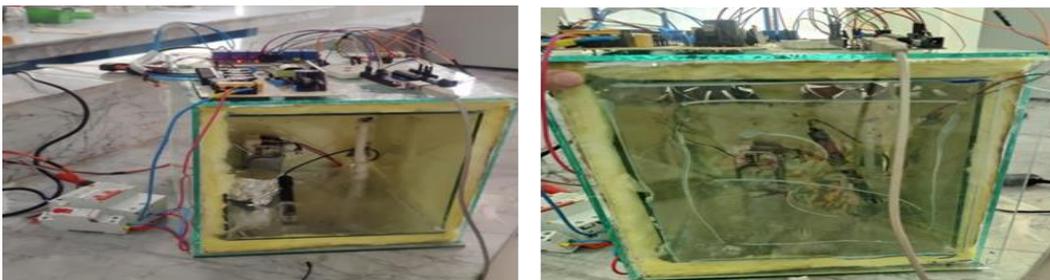


Figure II. 16: Système finale

Résultats

Et

Discussion

III.1 Choix des produits utilisés

À partir d'un questionnaire public réalisé par le biais d'un formulaire Google en ligne auprès de 62 répondants, nous avons choisi de tester les produits hydratants à base d'aloë vera parce qu'ils sont largement utilisés et appliqués sur une peau saine, ce qui permet de détecter le vrai impact sur la microflore cutanée.

III.1.1 Résultats de sondage sur google forme

III.1.1.1 Question N° 01

Parmi les substances naturelles suivantes, lesquelles utiliser pour hydrater votre peau ?

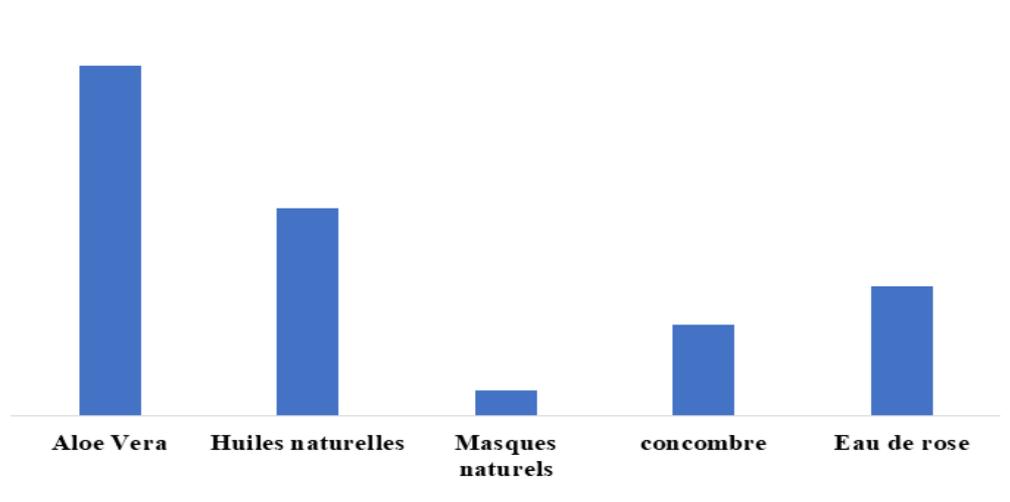


Figure III. 1 : Répartition des résultats de la question N 01 substances naturelles utilisées pour hydrater la peau

III.1.1.2 Question N° 02

Si vous optez pour l'aloë vera, comment préférez-vous l'utiliser :

- En sérum
- En gel
- Ou en huile

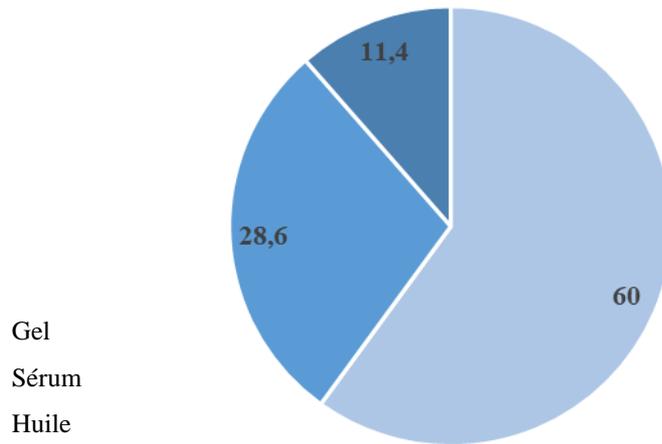


Figure III. 2 : Répartition des résultats de la question N 02 forme d'aloé vera plus utilisée

III.1.2 Produits commercialisés utilisés

Les produits utilisés sont :

- Gel hydratant d'aloé vera
- Sérum hydratant d'aloé vera



Figure III. 3: Produits utilisés

III.2 Résultats de recherche bactériologique

III.2.1 Identification des souches bactériennes

Pour notre étude on a choisi la bactérie de genre *staphylococcus* comme bactérie représentable de microflore cutanée, et nous avons choisi d'isoler *staphylococcus heamolyticus*.

III.2.1.1 Etude des caractères cultureux

À partir de plusieurs repiquages effectués sur le milieu Chapman, on a observé deux types de boîtes (figure III.4): des boîtes qui avaient changé de couleur et étaient devenues jaunes à cause de la consommation de mannitol et des boîtes qui étaient restées rouges (pas de fermentation du mannitol). Dans les deux cas, les bactéries observées sont des colonies lisses, petites, blanches et arrondies qui forment parfois des biofilms. Les boîtes restées rouges ont été sélectionnées pour compléter le reste de l'étude.

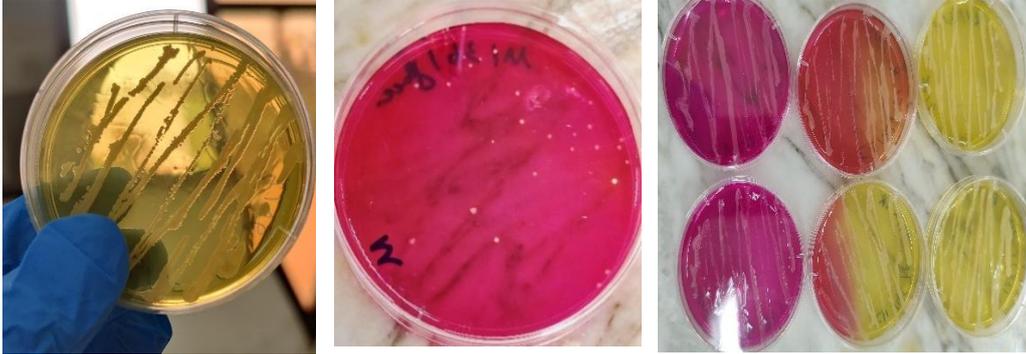


Figure III. 4: Observation macroscopique des colonies (prise par nous-mêmes)

III.2.1.2 Coloration de Gram

La coloration de Gram a été effectuée sur les isolats obtenus (figure III. 5), afin d'analyser la structure de leur paroi bactérienne, de déterminer leur morphologie et leur mode de groupement. Les résultats de cette coloration sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 1: Résultats de la coloration de Gram

Isolats	Morphologie	Mode de groupement	Coloration de Gram
Sv	Cocci	En amas	Gram (+)
Sm	Cocci	En amas	Gram (+)
Sa	Cocci	En amas	Gram (+)

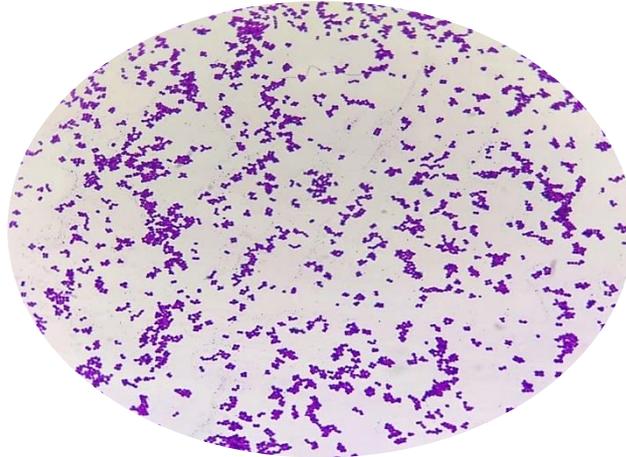


Figure III. 5: Photo de coloration de Gram de la bactérie à G× 100 (prise par nous-mêmes)

III.2.1.3 Test de la catalase

Les souches microbiennes, qui sont des Cocci à Gram positif, ont été soumises au test de la catalase (Annexe A5). Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 2: Résultats de la catalase

Les isolats	Observation	Test de la catalase
Sv	Formation de bulles (dégagement gazeux)	Catalase +
Sm	Formation de bulles (dégagement gazeux)	Catalase +
Sa	Formation de bulles (dégagement gazeux)	Catalase +

Les souches sont positives au test de la catalase, ce qui oriente la recherche vers les genres *Micrococcus* et/ou *Staphylococcus*.

III.2.1.4 Test de la coagulase

Le test de la coagulase a été utilisé (figure III. 6) pour différencier les différentes espèces de *staphylocoques*. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 3: Résultats de la coagulase

Isolats	Observation	Test de la coagulase
Sv	Pas de formation de caillot	Négatif
Sm	Pas de formation de caillot	Négatif
Sa	formation de caillot	Positif

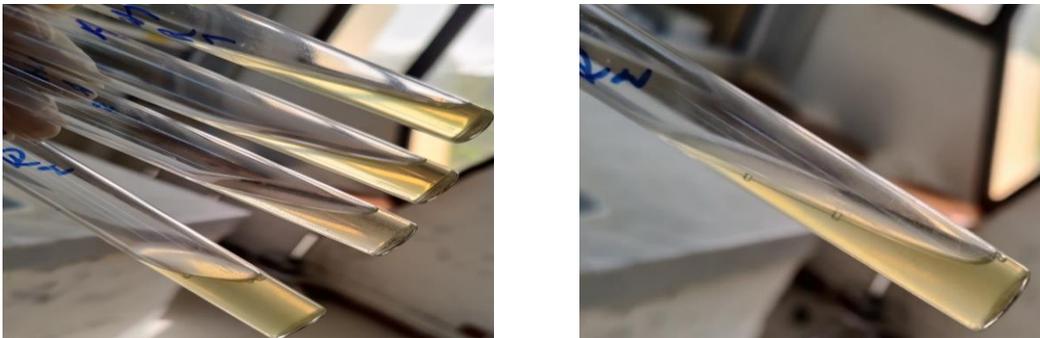


Figure III. 6: Résultats de test coagulase (prise par nous-mêmes)

III.2.1.5 Test DNase

Cette procédure aidera à déterminer si *Staphylococcus haemolyticus* produit l'enzyme DNase (**Annexe A6**). Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III. 4: Résultats de DNase

Les isolats	DNase	Observation
Sv	Négatif	Pas de zone claire autour de la croissance bactérienne (aucune hydrolyse de l'ADN)
Sm	Négatif	Pas de zone claire autour de la croissance bactérienne (aucune hydrolyse de l'ADN)
Sa	Positif	Une zone claire autour de la ligne de croissance bactérienne (la bactérie produit de la DNase et a dégradé le DNA présent dans le milieu)

Les résultats suggèrent que l'isolat Sa testé a la capacité de produire de la DNase, ce qui est un facteur de virulence, et les isolats Sv et Sm n'ont pas cette capacité.

III.2.1.6 Test mannitol-mobilité

Ce test est utilisé pour déterminer la capacité des bactéries à fermenter le mannitol (**Annexe A7**). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 5: Résultats de mannitol-mobilité

isolates	Observation	Test mannitol	Observation	Mobilité
Sv	Pas de virage du rouge de phénol au jaune	Négatif (n'a pas fermenté le mannitol.)	Croissance confinée à la ligne de piqûre	Négatif (absence de mobilité)
Sm	Pas de virage du rouge de phénol au jaune	Négatif (n'a pas fermenté le mannitol.)	Croissance confinée à la ligne de piqûre	Négatif (absence de mobilité)
Sa	Changement de couleur en jaune	Positif (fermenté de mannitol)	Croissance confinée à la ligne de piqûre	Négatif (absence de mobilité)

III.2.1.7 Galerie API Staph

Les résultats de la galerie API (figure III. 8) ont montré que *staphylococcus heamoliticus* était l'espèce bactérienne dominante dans les trois essais à partir des isolats de trois personnes avec des pourcentages différents obtenus en entrant le code (tableau III. 6) dans le logiciel.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III. 6: Pourcentage de bactérie identifiée par API Staph

Iso lats	Pourcentage (%)
R1	57
R2	37,1
R3	60

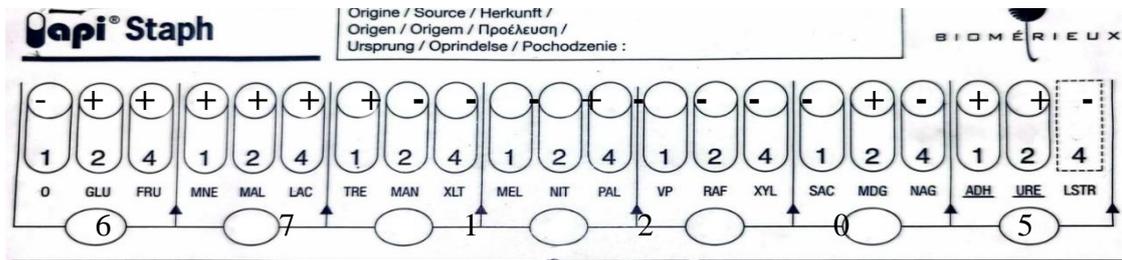


Figure III. 7: Image représente le code obtenu à partir des résultats de micro-testes



Figure III. 8: Micro-testes biochimique par le dispositif biomérieux Api staph (prise par nous-mêmes)

A partir des résultats de notre recherche bactériologie, la souche *staphylococcus heamolyticus* a été identifié à partir d'un isolement de 3 personnes (deux personnes âgées de 23 ans dont l'isolement a été fait à partir de leur visage et une personne âgée de 5 ans où l'isolement est réalisé à partir de ses mains). Selon les résultats de **BOURARA et al., 2023** le genre *staphylocoque* dominant la microflore, ils ont trouvé 7 bactéries avec une probabilité d'identification "bonne", tandis que 7 autres avaient une probabilité de type "pas bonne", selon biomérieux Api staph. Ils ont déduit que *S. haemolyticus* est bonne et que *Staphylococcus aureus* Probe bonne.

Bien que, nous identifions *S. haemolyticus* et travaillons avec elle en tant qu'agent bactérien utile appartenant à notre microbiote.

III.3 Étude de l'activité antibactérienne

III.3.1 Détermination de la CMI

III.3.1.1 Résultats de la deuxième technique (MH)

Après 24 heures, les résultats ont été déterminés à partir du spectre à 625 nm et, en utilisant la courbe d'étalonnage, la densité optique a été convertie en charge bactérienne. Pour simplifier la présentation des résultats, la charge bactérienne a été convertie en log N.

Les résultats sont présentés dans le graphe ci-dessous :

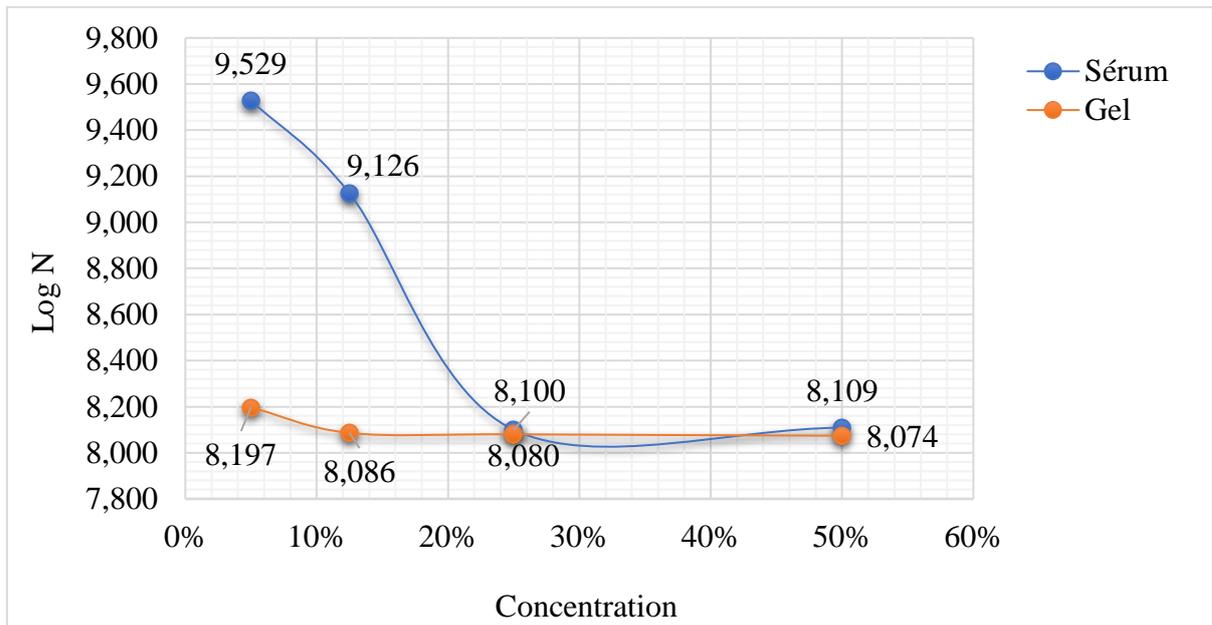


Figure III. 9: Variation de croissance de *Staphylococcus haemolyticus* en fonction de la concentration

Pour une meilleure analyse, nous comparerons les résultats des expériences avec les produits à celui du témoin, qui était au début de 10^8 UFC/ml , et après 24 heures nous trouvons que les bactéries se sont multipliées par $5.36 \times 10^9 \text{ UFC/ml}$.

Pour le sérum, une légère diminution de la croissance bactérienne a été observée par rapport au témoin où à des concentrations de sérum de 5% et 12,5% nous avons trouvé $3,38 \times 10^9 \text{ UFC/ml}$ et $1,34 \times 10^9 \text{ UFC/ml}$ respectivement alors que sans sérum on a trouvé $5.36 \times 10^9 \text{ UFC/ml}$.

Tandis qu'aux concentrations de 25% et 50%, on constate une diminution significative par rapport au témoin où le nombre de bactéries était de $1,26 \times 10^8 \text{ UFC/ml}$ et $1,29 \times 10^8 \text{ UFC/ml}$, respectivement ce qui est presque égal au témoin avant incubation 10^8 UFC/ml (0,5

McFarland), ce qui signifie qu'il n'y a pas de croissance bactérienne. Ceci nous permet de déduire que la concentration de **25%** représente CMI.

Pour le gel, une réduction significative de la croissance bactérienne a été observée par rapport au contrôle. Aux concentrations de gel de 5%, 12,5% et 25%, on trouve respectivement

$1,57 \times 10^8 \text{UFC/ml}$ et $1,22 \times 10^8 \text{UFC/ml}$ et $1,20 \times 10^8 \text{UFC/ml}$, alors qu'on trouve $5,36 \times 10^9$ dans le témoin.

Alors qu'à la concentration de 50%, on observe que le nombre de bactéries est resté le même avant l'incubation, soit égal à $1,01 \times 10^8 \text{UFC/ml}$, ce qui signifie une absence totale de multiplication bactérienne. Ce qui nous permet de conclure que la concentration **50%** est la CMI.

La figure III. 10 montre la différence d'effet entre le sérum et le gel, ce dernier ayant un effet plus important sur la croissance bactérienne à toutes les concentrations testées, tandis que le sérum a commencé à montrer son effet progressivement.

III.3.1.2 Résultats de la deuxième technique (DMSO)

Après 24 heures, des zones d'inhibition sont apparues dans certaines boîtes, les résultats étant présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 7: Diamètres d'inhibitions des produits testés sur *S. haemolyticus*

Produits	Concentration %	Sensibilité	Inhibition (mm)
Gel	50	Extrêmement sensible	26
	25	Très Sensible	18
	12,5	Sensible	12
Sérum	100	Sensible	11
	50	Sensible	10
	25	Sensible	9
DMSO	/	Résistante	0

Les résultats de tableau III.7 montrent que les produits testés ont un effet sur les bactéries *S. haemolyticus*. On observe que cette bactérie est très sensible aux concentrations de gel de 12,5 %, 25 %, 50 % et 50 % avec un diamètre d'inhibition de 12mm, 18mm et 26mm, respectivement. Les bactéries étaient également sensibles au sérum, mais dans une moindre mesure que le gel, les concentrations de sérum de 25 %, 50 % et 100 % ayant un diamètre d'inhibition de 9mm, 10mm et 11mm respectivement. D'après le témoin, ces effets sont dus uniquement aux produits, car le DMSO n'a pas eu d'effet du tout sur les bactéries.

III.3.2 Détermination de la CMB

Comptage des colonies

Après 24 heures, le nombre de colonies bactériennes dans chaque boîte a été calculé (Tableaux III.8 et III.9).

Tableau III. 8: Charges bactérienne de *S. haemolyticus* pour déterminer le CMB du sérum

Sérum	1	2	3	Somme	N (UFC/ml)
100%	1	4	2	7	7×10^2
50%	120	133	80	333	$3,33 \times 10^4$
25%	211	280	200	691	$6,91 \times 10^4$
12,50%	> 300	> 300	> 300	> 300	/
5%	> 300	> 300	> 300	> 300	/

Tableau III. 9: Charges bactérienne de *S. haemolyticus* pour déterminer le CMB du gel

Gel	1	2	3	Somme	N (UFC/ml)
50%	3	0	2	5	5×10^2
25%	20	27	51	248	$9,81 \times 10^3$
12,50%	> 300	> 300	> 300	> 300	/
5%	> 300	> 300	> 300	> 300	/

Comme indiqué précédemment dans la définition du CMB, il s'agit de la concentration nécessaire pour tuer 99,99% de la charge bactérienne initiale, qui est égale à 10^8UFC/ml , ce qui signifie qu'il reste 0,01%, ce qui équivaut à 10^4UFC/ml , et grâce aux résultats des deux tableaux, on peut voir que la concentration de gel 25% avait une charge bactérienne égale à $9,81 \times 10^3 \text{UFC/ml}$, ce qui est la première concentration avec une charge bactérienne inférieure à 10^4UFC/ml , ce qui signifie que la concentration de 25% représente le CMB. Concernant le sérum, la concentration ayant une charge bactérienne inférieure ou égale à 10^4UFC/ml est de 100% (sérum pure) avec $7 \times 10^2 \text{UFC/ml}$, c'est donc 100% qui représente le CMB.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 10: Effet d'inhibitions des produits testés sur *S. haemolyticus*

Produit	CMI	CMB	$\frac{\text{CMB}}{\text{CMI}}$	Effet
Gel	50%	25%	0,5	Bactéricide
Sérum	25%	100%	4	Bactériostatique

Selon les résultats (tableau III.10), le gel est bactéricide (CMB/CMI est inférieur à 1), ce qui indique une action directe sur les bactéries.

Par contre, le sérum est bactériostatique (CMB/CMI égal à 4), ce qui indique une action indirecte sur les bactéries, en inhibant leur croissance, mais ne les tuant pas immédiatement.

Selon **Maroua *al.*, 2021** les résultats de la CMI de l'extrait brut de la plante d'aloë vera étudié sur la souche *S. aureus*, qui appartient à la flore cutanée transitoire, ont trouvé que cette dernière était de 200 mg/ml (**Maroua *al.*, 2021**). Comparés à nos résultats de 2 produits synthétiques efficaces sur *S. haemolyticus*, qui est une bactérie bénéfique de notre microbiote donc des doses non déterminées pourraient faire une dybiose dermatologique peut-être due aux additifs et conservateurs bien que l'étiquette des deux produits indique qu'il est composé de 92 % de gel d'aloë vera naturel. Mais l'effet de l'aloë vera naturel sur la bactérie staphylocoque n'est pas si fort.

III.4 Type respiratoire et durée de vie de *S. haemolyticus*

- Une turbidité due à la prolifération bactérienne a été observée dans le tube contenant de l'huile de paraffine, ces bactéries sont donc des anaérobies facultatifs.
- En observant le tube contenant les bactéries cultivées dans de l'eau physiologique pendant plusieurs jours, nous concluons que ces bactéries peuvent vivre jusqu'à 10 jours.

III.5 Résultats de la modélisation

III.5.1 Température

III.5.1.1 Analyse et interprétation

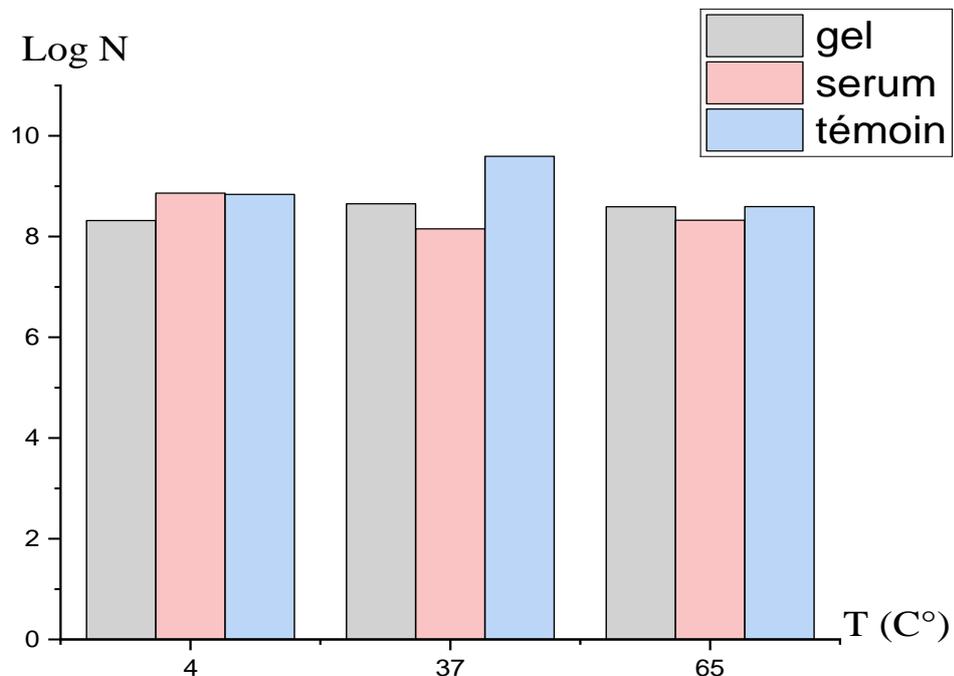


Figure III. 10: Evolution de la croissance de *S. haemolyticus*

Les résultats ont été obtenus par mesure de densité optique, après 24 heures on a observé qu'à 4°C la charge bactérienne a été réduite par rapport au témoin. Dans le cas du gel, l'effet a été plus rapide que celui du sérum, à 37°C la charge bactérienne avec le sérum est plus efficace que le gel et en même temps les deux sont plus faibles que le témoin, à 65°C la charge bactérienne avec le sérum est plus faible que le gel et donc le sérum inhibe plus la prolifération bactérienne. Après 48 heures, la charge bactérienne à 4°C et 65°C a légèrement diminué pour atteindre sa plus faible valeur à 120 heures et s'est stabilisée à 144 heures car la plupart des bactéries sont mortes.

III.5.1.2 Élaboration du modèle

III.5.1.2.1 Cas de gel

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante :

$$\mathbf{Log\ N = A + \frac{1}{2B} e^{-\frac{|x-C|}{B}}}$$

Avec A, B, C sont des variables déterminées par une fonction linéaire de la forme $aT + b$ où t est le temps (heures) et T est la température (°C).

III.5.1.2.2 Cas de sérum

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante :

$$\mathbf{Log\ N = a + bc^t}$$

Avec a, b, c sont des variables déterminées par une fonction linéaire de la forme $AT + B$ où t est le temps (heures) et T est la température (°C).

Validation du modèle

Pour vérifier le modèle, nous comparons une valeur réelle avec une valeur calculée, en prenant un point à 37°C et un temps de 24 h.

$$\text{Avec } \mathbf{Erreur} = \frac{|valeur\ calculée - valeur\ réelle|}{valeur\ calculée} \times 100$$

$$valeur\ calculée(gel) = A + \frac{1}{2B} e^{-\frac{|t-C|}{B}}$$

$$valeur\ calculée\ (gel) = A +$$

$$\frac{1}{2B} e^{-\frac{|24-C|}{B}}$$

$$valeur\ calculée\ (sérum) = a + bc^t$$

$$valeur\ calculée(sérum) = a + bc^{24}$$

Tableau III. 11: Résultats de validation de modèle température

À T 37°C	Gel	Sérum
A	8,25241	8,0869
B	32 ,47442	-0,47993
C	23 ,99999	-0,018939125755

Tableau III. 12: Résultats calcule de coefficients de température

Modèle	Valeur réel	Valeur calculé	Erreur (en %)
Gel	8,652	8 ,252	4,84
Sérum	8 ,153	8 ,086	0,82

Les modèles développés pour le gel et le sérum montrent une précision satisfaisante, avec une précision supérieure pour le sérum (erreur de 0.82%) par rapport au gel (erreur de 4.84%). Les coefficients des modèles, étant des fonctions linéaires de la température, permettent un ajustement aux variations thermiques. Le modèle de gel présente une décroissance exponentielle rapide avec le temps, tandis que le modèle de sérum inclut un terme exponentiel pouvant indiquer une croissance ou une décroissance selon les valeurs des coefficients. Donc ces modèles mathématiques montrent une bonne capacité prédictive, avec une meilleure précision pour le sérum par rapport au gel. L'influence de la température est correctement intégrée, permettant des ajustements précis en fonction de température.

III.5.2 Inoculum

III.5.2.1 Analyse et interprétation

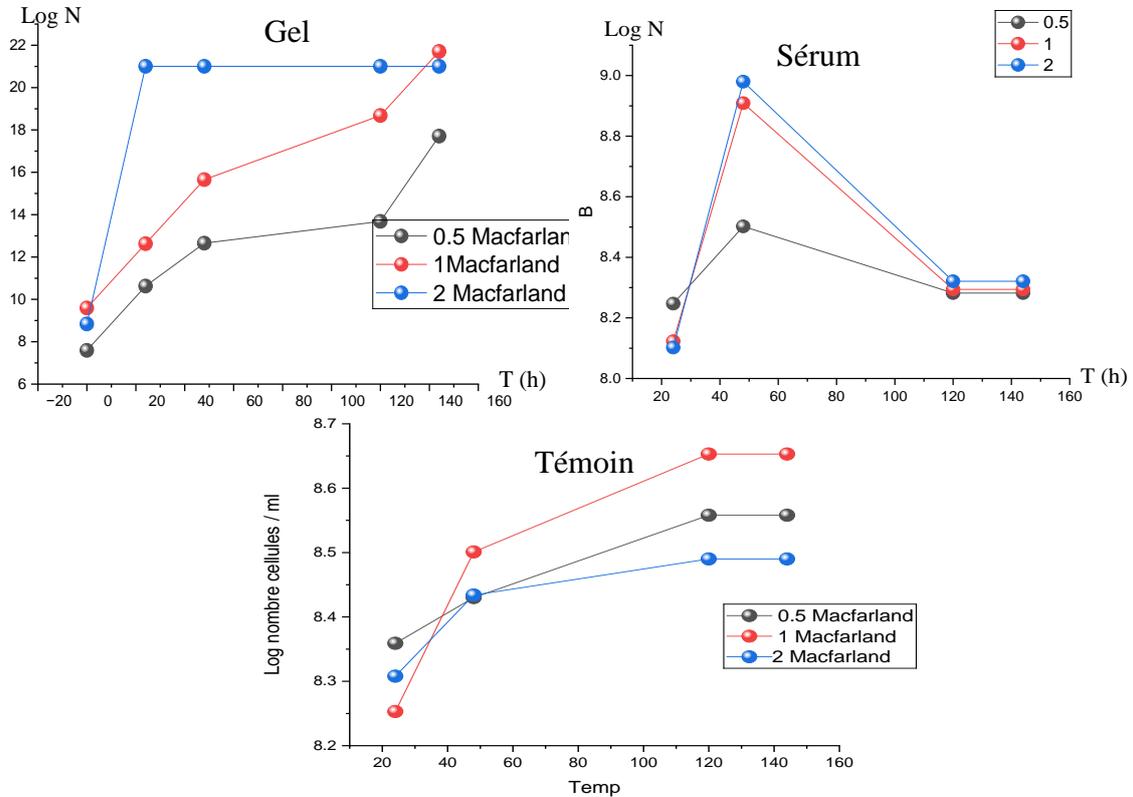


Figure III. 11 : Evolution de la croissance de *S. haemolyticus* à différentes charges initiales en fonction du temps

III.5.2.1.1 Cas de gel

La courbe de variation de la croissance de *S. haemolyticus* avec un traitement du gel d'aloë vera en fonction de la charge initiale et du temps comparée à celle d'évolution de croissance *S. haemolyticus* est illustrée sur la figure (figure III.12).

Charge Initiale de 0.5 McFarland

- À 24 heures, le traitement avec le gel d'aloë vera a permis d'obtenir une valeur de 8.359 pour le nombre de cellules, ce qui est inférieur à 10.629 observées dans le témoin. Cela indique une inhibition significative de la croissance bactérienne par le gel d'aloë vera après 24 heures.
- À 48 heures, la valeur pour le nombre de cellules 8.430 avec le traitement, comparée à 12.655 dans le groupe témoin. Cela montre que le gel d'aloë vera continue d'inhiber la croissance bactérienne, avec une différence notable par rapport au témoin.

- À 120 heures, la valeur de nombre de cellules atteint 8.558 avec le traitement, tandis que dans le témoin, elle est de 13.682. Cette différence significative démontre que le gel d'aloé vera maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée.
- À 144 heures, bien que les résultats expérimentaux montrent une croissance stable, significative du témoin, ce qui souligne l'importance de l'effet inhibiteur observé aux périodes précédentes avec le gel d'aloé vera.

Charge initiale de 1 McFarland

- À 24 heures, le traitement avec le gel d'aloé vera a permis d'obtenir une valeur de 8.253 pour le nombre de cellules, ce qui est bien inférieur à la valeur de 12.629 observées dans le témoin. Cela indique une inhibition significative de la croissance bactérienne par le gel d'aloé vera après 24 heures.
- À 48 heures, le nombre de cellules est de 8.501 avec le traitement, comparé à 15.655 dans le témoin. Cela montre que le gel d'aloé vera continue d'inhiber la croissance bactérienne, avec une différence notable par rapport au témoin.
- À 120 heures, le nombre de cellules atteint 8.653 avec le traitement, tandis que dans l'essai témoin, elle est de 18.682. Cette différence significative démontre que le gel d'aloé vera maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée.
- À 144 heures, bien que les résultats expérimentaux montrent une croissance stable pour 6 J, et du témoin montrent une croissance continue (de 21.708), ce qui souligne l'importance de l'effet inhibiteur observé aux périodes précédentes avec le gel d'aloé vera.

Charge initiale de 2 McFarland

- À 24 heures, le traitement avec le gel d'aloé vera a permis d'obtenir une valeur de 8.308 pour le nombre de cellules, ce qui est bien inférieur de 21.006 observées ou témoin. Cela indique une inhibition très significative de la croissance bactérienne par le gel d'aloé vera après 24 heures.
- À 48 heures, le nombre de cellules est de 8.434 avec le traitement. Bien qu'il n'y ait pas de valeur témoin spécifiée pour 48 heures, ont observé à 24 heures suggère que le gel continue d'inhiber la croissance bactérienne de manière significative.
- À 120 heures, le nombre de cellules atteint 8.490 avec le traitement. L'absence de valeur témoin pour 120 heures ne permet pas une comparaison directe, mais la

tendance observée à 24 heures indique que le gel d'aloë vera maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée.

III.5.2.1.2 Cas de sérum

La courbe la variation de la croissance de *s. haemolyticus* en fonction de la charge initiale et du temps comparée à celle d'évolution de croissance *s. haemolyticus* est illustrée sur la figure III.12.

Charge initiale de 0.5 McFarland

- 24 heures, le traitement avec le sérum a permis d'obtenir une valeur de log de 8.247 pour le nombre de cellules, ce qui est inférieur à la valeur de log de 10.629 observée de témoin. Cela indique une inhibition significative de la croissance bactérienne par le sérum après 24 heures.
- 48 heures, le nombre de cellules est de 8.502 avec le traitement, comparé à 12.655 de témoin. Cela montre que le sérum continue d'inhiber la croissance bactérienne de manière significative.
- 120 heures, le nombre de cellules est de 8.282 avec le traitement, tandis que dans le groupe témoin, elle est de 13.682. Cette différence significative démontre que le sérum maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée et reste stable à 144 heures.

Charge initiale de 1 McFarland

- 24 heures, le traitement avec le sérum a permis d'obtenir une valeur de 8.123 pour le nombre de cellules, ce qui est bien inférieur à la valeur 12.629 observée dans le témoin. Cela indique une inhibition significative de la croissance bactérienne par le sérum après 24 heures.
- 48 heures, le nombre de cellules est de 8.909 avec le traitement, comparée à 15.655 dans le témoin. Cela montre que le sérum continue d'inhiber la croissance bactérienne de manière significative.
- 120 heures, le nombre de cellules est de 8.294 avec le traitement, tandis que dans le témoin, elle est de 18.682. Cette différence significative démontre que le sérum maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée et reste stable à 144 heures.

Charge initiale de 2 McFarland

- 24 heures, le traitement avec le sérum a permis d'obtenir une valeur de 8.102 pour le nombre de cellules, ce qui est bien inférieur à la valeur de log de 21.006 observées dans la valeur témoin. Cela indique une inhibition très significative de la croissance bactérienne par le sérum après 24 heures.
- 48 heures, le nombre de cellules est de 8.980 avec le traitement. L'absence de valeur témoin pour 48 heures ne permet pas une comparaison directe, mais l'écart observé à 24 heures suggère que le gel continue d'inhiber la croissance bactérienne de manière significative.
- 120 heures, le nombre de cellules atteint 8.321 avec le traitement. L'absence de valeur témoin pour 120 heures ne permet pas une comparaison directe, mais la tendance observée à 24 heures indique que le sérum maintient son effet inhibiteur sur la croissance bactérienne sur une période prolongée et reste stable à 144 heures.

III.5.2.2 Élaboration du modèle

III.5.2.2.1 Cas de gel

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante : $\mathbf{Log N = A \times t^B}$

Avec A, B sont des variables déterminées par une fonction linéaire de la forme $a \times I + b$ où

t est le temps et I est les standards de McFarland.

III.5.2.2.2 Cas de sérum

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante :

$$\mathbf{Log N = A + \frac{B}{C \sqrt{\frac{C}{2}}} e^{-2\left(\frac{t-D}{c^2}\right)}}$$

Avec A, B, C, D sont des variables déterminées par une fonction linéaire de la forme $a \times I + b$ où t est le temps et I est les standards de McFarland.

III.5.2.3 Validation du modèle

Pour vérifier le modèle, nous comparons une valeur réelle avec une valeur calculée, en prenant un point à 1 McFarland et un temps de 24 h.

Tableau III. 13: Résultats de validation de modèle inoculum bactérienne

À 1 McFarland	Gel	Sérum
A	7,87257	8,17164
B	0,01773	$6,55342 \times 10^{-13}$
C	/	31,53342
D	/	6,61257

Tableau III. 14: Résultats calcule de coefficients de l'inoculum

Modèle à 24 h	Valeur réel	Valeur calculé	Erreur (en %)
Gel	8,359	8,328	0,37
Sérum	8,153	8,123	0,58

Cette modélisation mathématique montre une excellente précision, avec le modèle de gel présentant une erreur de 0.37% et le modèle de sérum une erreur de 0.58%. Le modèle de gel suit une croissance exponentielle modifiée, suggérant une augmentation lente de N avec le temps, tandis que le modèle de sérum intègre un terme complexe indiquant une croissance ou décroissance influencée par plusieurs facteurs, permettant une adaptation plus fine aux variations temporelles. Les expressions mathématiques pour l'inoculum bactérien montrent une bonne capacité prédictive, avec une précision légèrement meilleure pour les deux modèles.

III.5.3 pH

III.5.3.1 Analyse et interprétation

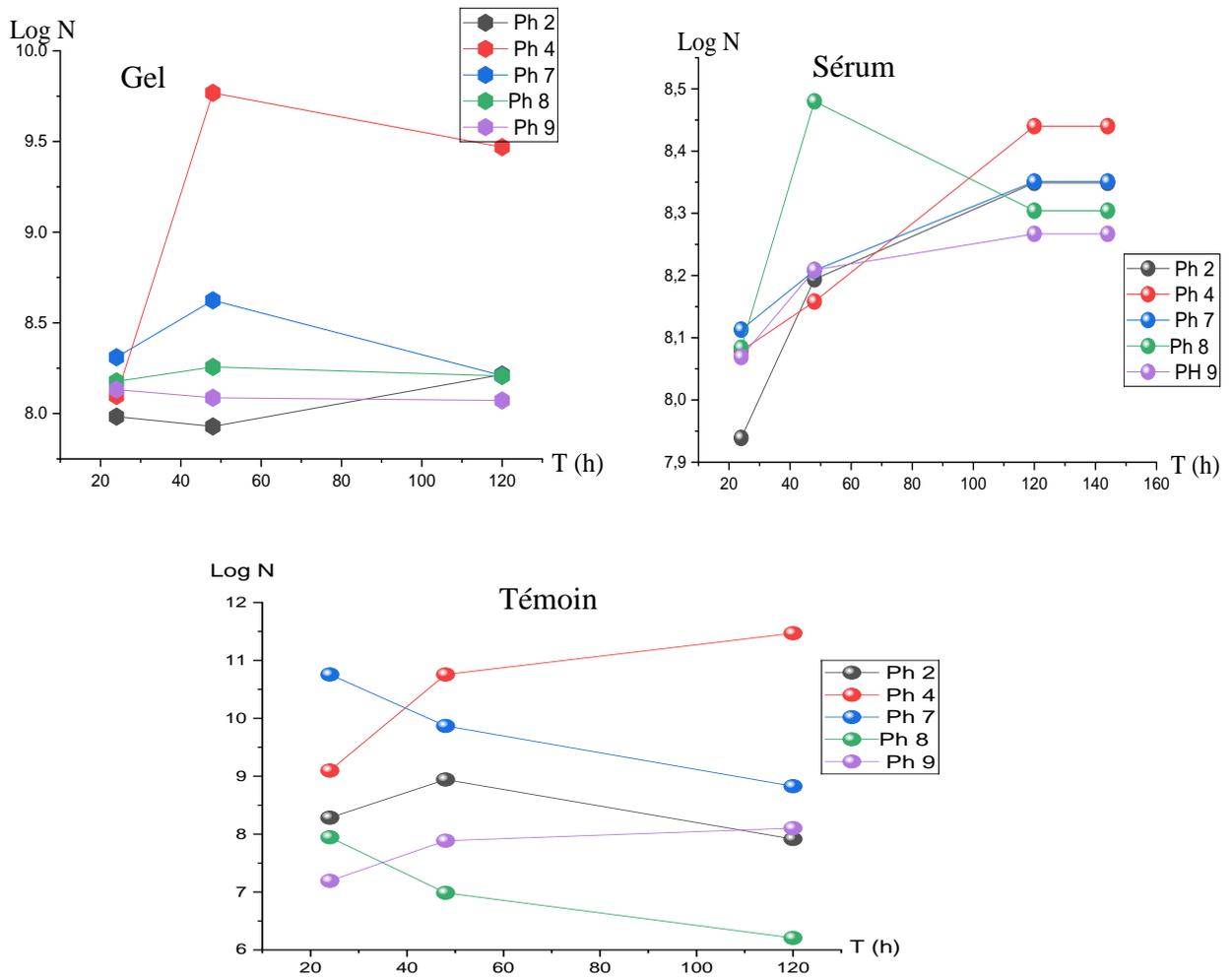


Figure III. 12 : Croissance *S. haemolyticus* dans une gamme de pH

III.5.3.1.1 Cas de gel

La courbe de croissance de *S. haemolyticus* avec un gel d'aloé vera en fonction du temps comparé à celle d'évolution de croissance *S. haemolyticus* est présentée sur la figure III.13.

pH 2 à T 26 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne dans l'expérience de gel (7.983) est légèrement inférieure à celle du témoin (8.283), indiquant une inhibition initiale de la croissance bactérienne sous un pH acide.
- À 48 heures, cette différence s'accroît avec une valeur de 7.929 par rapport au témoin 8.943, confirmant une inhibition significative dans le groupe expérimental.

- Cependant, à 120 heures, l'essai expérimental (8.215) montre une légère amélioration de la croissance par rapport au témoin (7.915), suggérant une possible adaptation de bactérie à long terme face à cet environnement acide et reste stable à 144 heures.

pH 4 à T 26 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne dans le cas de gel est inférieure à celle du témoin, indiquant une inhibition initiale de la croissance bactérienne à pH 4.
- À 48 heures, bien que la croissance bactérienne dans le cas de gel augmente légèrement mais elle reste inférieure à celle du témoin, montrant une inhibition prolongée comparée au témoin.
- À 120 heures, la différence de croissance entre expérience avec le gel et le témoin persiste, avec une légère amélioration dans le cas de gel mais toujours en dessus du témoin et reste stable à 144 heures.

pH 7 à T 26 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne dans le cas de gel est significativement inférieure à celle du groupe témoin, indiquant une inhibition marquée par la croissance bactérienne à pH 7.
- À 48 heures, bien que la croissance bactérienne dans l'expérience de gel montre une légère augmentation, elle reste nettement inférieure à celle du témoin, confirmant une inhibition prolongée de la croissance bactérienne à pH 7.
- À 120 heures, la croissance dans le groupe expérimental montre une légère amélioration mais reste inférieure à celle du témoin et reste stable à 144 heures.

pH 8 à T 26 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne dans l'essai expérimental est légèrement inférieure à celle du témoin.
- À 48 heures, la croissance dans l'expérience de gel reste supérieure à celle du témoin, montrant une augmentation continue de la croissance bactérienne à pH 8.
- À 120 heures, bien que la croissance expérimentale soit légèrement inférieure à 48 heures, elle reste nettement supérieure à celle du témoin, indiquant une croissance persistante à pH 8 et reste stable à 144 heures.

pH 9 à T 65 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne dans le cas de gel est inférieure à celle du témoin, indiquant une inhibition de la croissance à pH 9 par rapport au témoin.
- À 48 heures, la croissance bactérienne reste légèrement supérieure à celle du témoin, montrant une persistance de cette amélioration.
- À 120 heures, la croissance expérimentale montre une légère diminution par rapport à 48 heures mais reste comparable à celle du témoin, indiquant une croissance stable à 144 heures.

III.5.3.1.2 Cas de sérum

La courbe de variation de la croissance de *S. haemolyticus* avec le sérum en fonction du temps comparée à celle d'évolution de croissance *S. haemolyticus* est donnée dans la figure III.13.

pH 2 à T 26 C°

- À 24 heures, la croissance bactérienne est inférieure à celle du témoin, indiquant une inhibition de la croissance par le sérum d'aloé vera.
- À 48 heures, la croissance reste inférieure à celle du témoin, montrant une persistance de l'effet inhibiteur du sérum.
- À 120 heures, la croissance de l'essai expérimental dépasse légèrement celle du témoin, ce qui pourrait indiquer une adaptation bactérienne.

À 24 heures

- pH 4 : La courbe montre une croissance bactérienne nettement inférieure dans le sérum d'aloé vera comparée au témoin, suggérant une inhibition efficace.
- pH 7 : Le sérum d'aloé vera inhibe fortement la croissance bactérienne par rapport au témoin.
- pH 8 : Une légère inhibition est observée par rapport au témoin.
- pH 9 : Aucune différence significative avec le témoin, indiquant que le sérum est moins efficace à ce pH.

À 48 heures

- pH 4, pH 7 et pH 8 : L'inhibition de la charge bactérienne par le gel d'aloé vera.
- pH 9 : La croissance est comparable au témoin, montrant une faible efficacité du sérum.

À 120 heures

- pH 4, pH 7 et pH 8 : L'inhibition de la croissance bactérienne par le gel se maintient.
- pH 9 : Il n'y a pas de différence notable avec le témoin, indiquant une efficacité limitée du sérum.

III.5.3.2 Élaboration du modèle

III.5.3.2.1 Cas de gel

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante : $\mathbf{Log\ N = A \times t^B}$

Avec A, B sont des variables à déterminer par une fonction linéaire de la forme $a \times pH + b$ avec t est le temps.

III.5.3.2.2 Cas de sérum

Par le biais du logiciel Origin, on a pu trouver l'équation suivante : $\mathbf{Log\ N = A \times t^B}$

Avec A, B, C, D sont des variables déterminées par une fonction linéaire de la forme $a \times pH + b$ où t est le temps.

III.5.3.3 Validation du modèle

Pour vérifier le modèle, nous comparons une valeur réelle avec une valeur calculée, en prenant un point à pH4 et un temps de 48 h.

Tableau III. 15: Résultats de validation de modèle pH

Modèle à 48 h	Valeur réel	Valeur calculé	Erreur (en %)
Gel	8,079	8,893	9,1
Sérum	8 ,158	8 ,181	0,2

Tableau III. 16: Résultats calcule de coefficients de Ph

À 4 pH	Gel	Sérum
A	8,0889	7,45374
B	0,0245	0,0245

Ces modèles pour les variations de pH montrent une capacité prédictive variée. Le modèle de sérum est très précis avec une erreur de 0.2%, tandis que le modèle de gel est moins précis avec une erreur de 9.1%. Les coefficients ajustables en fonction du pH permettent une bonne adaptation aux différentes conditions de pH. Les deux modèles suivent une croissance exponentielle modifiée, mais le modèle de sérum présente une meilleure précision et une meilleure adaptation aux variations temporelles par rapport au modèle de gel.

III.6 Fonctionnement du système

Après 24 heures, le système fonctionne selon les valeurs définies :

- pH = 7
- Température = 37°C
- Humidité = 40%.

Par exemple, à 10 :14 :28, la température mesurée est de 27.5°C, et la résistance s'active pour augmenter cette valeur à la température cible programmée. Lorsqu'on a mesuré manuellement, la température était de 27.4°C. Le pH mesuré était de 5.86, ce qui a déclenché l'électrovanne de base pour maintenir un milieu neutre, avec une mesure manuelle du pH confirmant la valeur de 5.86. L'humidité mesurée était de 54%, ce qui a activé le ventilateur pour atteindre la cible de 40%. La DO mesurée était de 0.11, et la mesure spectrométrique a donné 0.124.

Time	CH1	CH2	CH3	CH4
	PH	humidité	température	DO
14:28.0	sensor = 5.86	54	27.5	0.11
14:31.0		54	27.5	0.124
14:31.1	sensor = 5.87			
14:34.1		54	27.5	0.123
14:34.4	sensor = 5.86			
14:37.4		54	27.5	0.131
14:37.7	sensor = 5.88			
14:40.7		54	27.5	0.124
14:41.0	sensor = 5.66			
14:44.0		53.9	27.5	0.122
14:44.3	sensor = 5.86			
14:47.4		54	27.5	0.125
14:47.7	sensor = 5.68			
14:50.7		53.9	27.5	0.125

Figure III. 13 : Mesure de température et humidité après 24 h



Figure III. 14: Mesure de DO après 24h



Figure III. 15: Résultat de pH après 24 h

Après 24 heures de fonctionnement, le système régule efficacement les paramètres environnementaux en se basant sur les valeurs cibles programmées. Les mesures manuelles montrent des écarts minimes par rapport aux valeurs mesurées par le système, indiquant une précision acceptable. Les actions correctives, telles que l'activation de la résistance, de l'électrovanne et du ventilateur, permettent de maintenir les conditions proches des cibles définies, assurant ainsi un environnement stable et contrôlé.

Conclusion

Notre étude est basée sur le test de deux produits cosmétiques commerciaux, le gel d'aloé vera et son sérum, de deux marques différentes pour étudier leurs effets sur une espèce bactérienne isolée du microbiote cutané (*Staphylococcus haemolyticus*) afin de juger de la sûreté de ces produits sur notre barrière naturelle (microbiote cutanée) à l'aide d'un système de surveillance programmé dans l'Arduino pour modéliser plusieurs paramètres tels que la température, le pH et la charge bactérienne.

Après avoir analysé tous les résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- L'une des espèces bactériennes bénéfiques et dominantes du microbiote est *Staphylococcus haemolyticus*.
- Les deux produits ont un impact négatif sur cet espèce bactérienne : le gel est bactéricide et le sérum est bactériostatique.
- Des modèles mathématiques ont été développés permettent d'estimer la charge bactérienne
- Réalisation d'un système de surveillance Arduino suivi leur fonctionnement.
- Après avoir comparé les méthodes traditionnelles et l'essai de système, il s'est avéré que le système était plus utile, qu'il évitait le gaspillage de produits et qu'il réduisait le temps nécessaire aux essais.

Plusieurs difficultés ont été rencontrées dans le cadre de cette étude, qui pourrait être améliorée de plusieurs façons, dont certaines sont énumérées ci-dessous :

- Développement de biocapteurs pour une détermination plus précise de la charge bactérienne
- Addition d'un capteur qui permet de suivre les métabolites des bactéries
- La base de données collectée envoyée sans fils par l'intermédiaire d'une carte de réseau
- Élargissement du domaine d'activité du système à divers domaines, y compris les recherches microbiologiques.
- Développement et fabrication d'un produit cosmétique local avec des ingrédients naturels sûrs en utilisant notre système.

*Références
bibliographiques*

B

- **Baden, T., Chagas, A. M., Gage, G. J., Marzullo, T. C., Prieto-Godino, L. L., & Euler, T. (2015).** Open Labware: 3-D printing your own lab equipment. *PLoS Biology*, 13(3), e1002086. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002086>
- **Bes, M., & Brun, Y. (2002).** Staphylococcus: actualités taxonomiques et identification. *Revue Française des Laboratoires*, 2002(343), 23-30. Wikler, M. A. (2006). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. *Clsi (Nccls)*, 26.
- **Bouhouch, H. (2024, April 29).** Comment utiliser Électrovanne de liquide d'eau avec Arduino - Moussasoft. Moussasoft Maroc. <https://www.moussasoft.com/electrovanne-de-liquide-deau-avec-arduino/>
- **bioMérieux SA, "API-STAPH", 2017,** Marcy-l'Etoile, France.
- **Blaser, M. J. (2010).** Harnessing the power of the human microbiome. *Proc Natl Acad Sci USA*, 107(14), 6125-6126
- **Boulssen Bouthaina Zahra et Bouraui Nour El Houda (2016).** Etude de la tuberculose de l'olivier, isolement et identification présomptifs et quelques isolats bactériens à partir des tumeurs. Mémoire de master en Sciences biologique, sous la direction de Dr. Karima Boubekri, Constantine, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 79p.
- **Bourara Besma, S. D. L. N. (2023).** Étude de l'effet répétitive de toilettage sur la diversité de la microflore cutanée: avantages ou inconvénients.
- **Brown MM, Horswill AR (2020)** Staphylococcus epidermidis—Skin friend or foe. *PLOS Pathogens* 16(11): e1009026. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009026>

F

- **Foulon, M. (2024).** Rôle du microbiome cutané dans les dermatoses communes.
- **Fahad, E., & Fahad, E. (2024b, mai 28).** pH meter Arduino, pH Meter Calibration, DIYMORE pH Sensor Arduino Code. Electronic Clinic.
<https://www.electronicclinic.com/ph-meter-arduino-ph-meter-calibration-diymore-ph-sensor-arduino-code/>

J

- **Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2006).** Modern food microbiology. Springer Science & Business Media.
- **JEREMY D D., ALESSANDRA P., MARCEL H, D Hohl, MICHEL G., 2016.** Le microbiote cutané : le poids lourd sort de l'ombre. Rev. Med. Suisse 12, 660-664.

H

- **Hallis I.Hanachi C., 2022.** Fabrication de produits cosmétiques naturels.mémoire master en Biodiversité et physiologie végétale.Université Frères Mentouri Constantine.
- **Hamidi A, (2013).** Etude phytochimique et activité biologique de la plante limoniastrum guyonianum. Mémoire de magister. Ouargla : université kasdi merbah, p 86.
- **Harant, A. (2022).** Comparaison des infections cutanées à staphylococcus SPP entre l'homme et le chien (Doctoral dissertation).

J

- **Interface-Z, Z. C. (n.d.).** Interface-Z - Alimentations des cartes - Changement de bloc secteur. All Rights Reserved - Interface-Z - 2002 - 2022. <https://www.interface-z.com/conseil/alimentation.php>

G

- **García, P., Levican, J., Quiroga, T., Montiel, F., & Palavecino, E. (2002).** CORRESPONDENCE: Direct identification of *Staphylococcus aureus* from positive blood culture specimens with a rapid test. *Journal of medical microbiology*, 51(6), 530-531.

K

- **Kowalska-Krochmal, B., & Dudek-Wicher, R. (2021).** The minimum inhibitory concentration of antibiotics: Methods, interpretation, clinical relevance. *Pathogens*, 10(2), 165.

L

- **Lagrange, C. (2023).** Le microbiote cutané : son implication dans le psoriasis. *Sciences pharmaceutiques*. (hal-04517143) 6- 7- 9- CTCB. (2003). *Staphylococcus haemolyticus*. Fiche technique. Edition 2003.
- **LE PARLEMENT EUROPÉEN, E. L. C., & DE, L. U. E. (2009).** Règlement (CE) no 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques. *Journal officiel de l'Union européenne* L, 342, 59.
- **LEXTRONIC. (N.d.).** Module relais 5V à 4 canaux pour arduino. <https://www.lextronic.fr/module-relais-5v-a-4-canaux-40435.html>

M

- **MacLeod DT., Cogen AL., Gallo RL. (2009).** Skin microbiology. Encyclopedia of Microbiology. 734-747.
- **Maroua, K., & Boulouh Hanane, H. K. (2021).** Etude de l'activité antibactérienne de deux espèces d'Aloès : l'Aloe barabardensis Miller (Aloe vera) et l'Aloe saponaria Ait.
- **Mendaci A., Mihoubi S.2015.** Profil de sensibilité aux antibiotiques des Entérobactéries uropathogènes (Escherichia coli, Proteus mirabilis, Klebsiella pneumoniae). Thèse de magistère, université des frères Mentouri, Algerie, 25p.

P

- **Powertech-dz.net. (n.d.).** HUMIDIFICATEUR BRUMISATEUR SUPER ULTRASONS DC 5V 20 MM. <https://powertech-dz.net/products/single/humidificateur-brumisateur-super-ultrasons-dc-5v-20-mm-vente-composants-electronique-blida-algerie-83>

S

- **Sinha, A., Kar, S., Yadav, N., & Madke, B. (2016).** Prevalence of topical steroid misuse among rural masses. Indian journal of dermatology, 61(1), 119.
- **Système de refroidissement avec Arduino.** (n.d.). Système De Refroidissement Avec Arduino. <https://www.robotique.tech/tutoriel/systeme-de-refroidissement-avec-arduino/>

T

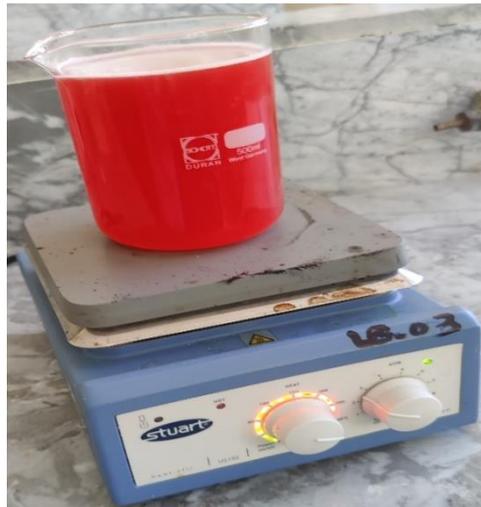
- **Tille, P. M., & Forbes, B. A. (2014).** Bailey & Scott's diagnostic microbiology (Thirteenth edition.). St. Louis, Missouri : Elsevier.
- Tutoduino. (2024, 15 avril). Capteur de température et d'humidité DHT11 DHT22.<https://tutoduino.fr/debuter/capteur-temperature/>

W

- **Wiegand I, Hilpert K, Hancock RE. 2008.** Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. Nat Protoc.

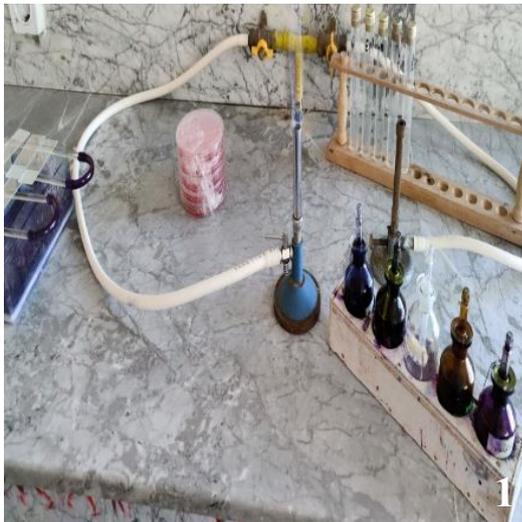
Annexes

Annexe A1 : Préparation du milieu



Agitation du gélose Chapman (prise par nous-mêmes)

Annexe A2 : Coloration de gram



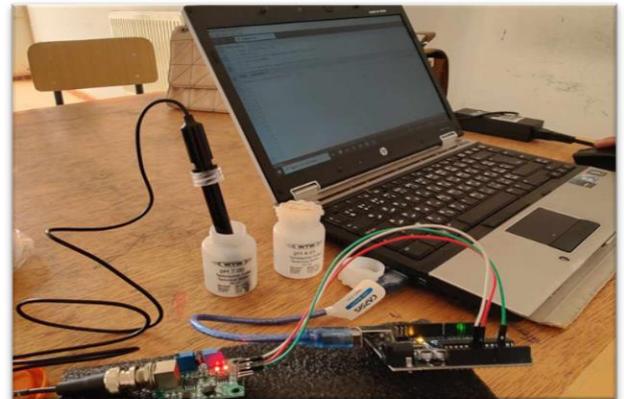
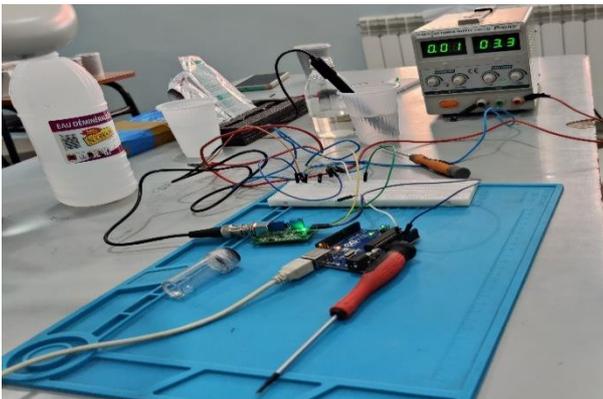
Etapes de coloration de Gram (prise par nous -même)

Annexe A3 : Conservation à court terme des bactéries



Conservation dans gélose chapman inclinée (prise par nous -même)

Annexe A4 : Essais de calibrage de PH mètre



Étapes de calibrage le PH mètre (prise par nous -même)

Annexe A5 : Résultats de test catalase



Formation du bulbes d'air (prise par nous-mêmes)

Annexe A6 : Résultats de test DNase



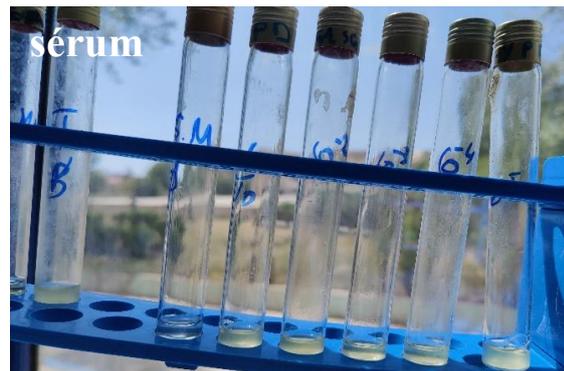
Boites de gélose DNase Aucune hydrolyse de l'ADN (prise par nous -même)

Annexe A7 : Résultats de mannitol-mobilité



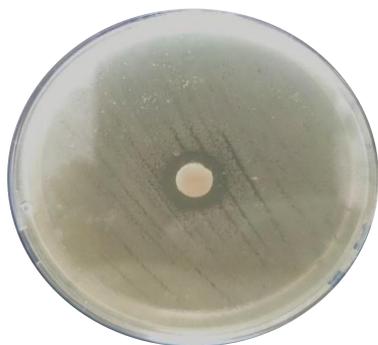
Tubes à essais du test mannitol-mobilité (prise par nous -même)

Annexe A8 : Résultats de technique 1 de CMI

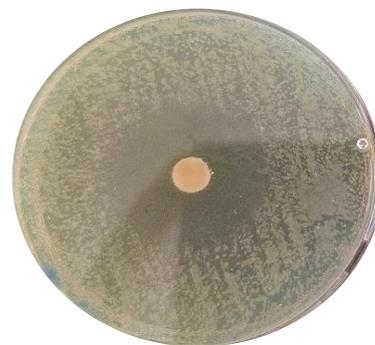


Tubes à essais de macrodilutions

Annexe A9 : Résultats de technique 2 de CMI



Diamètre d'inhibitions de sérum

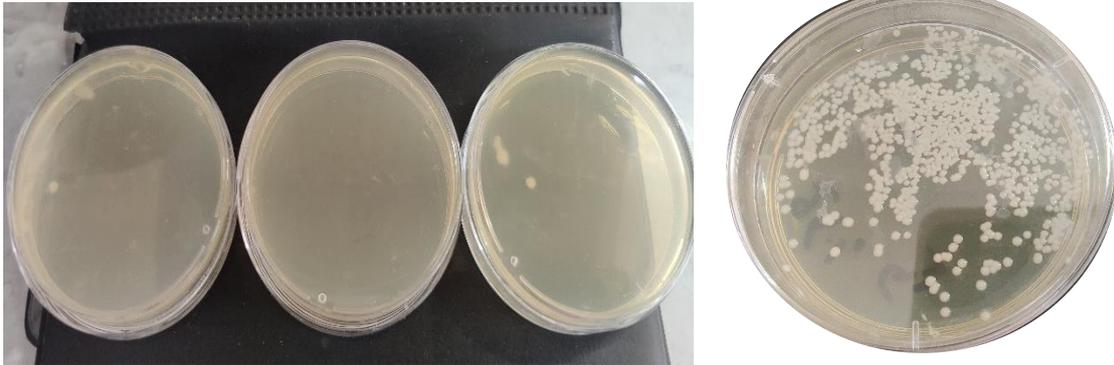


Diamètres d'inhibitions du gel



Témoin de DMSO

Annexe A10 : Résultats de CMB



Colonies de *S. haemolyticus* sur gélose MH

Résumé

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire avait pour objectif de mettre en place un système de surveillance basé sur Arduino pour suivre le développement des bactéries dans plusieurs conditions afin de voir comment deux produits cosmétiques synthétiques hydratants (gel d'aloë vera et sérum d'aloë vera) affectent le microbiote cutané.

Pour ce faire, on a d'abord identifié une espèce bactérienne du microbiote cutané isolée d'une peau saine et on a étudié in vitro à travers des méthodes classiques l'effet des deux produits sur celle-ci pour arriver au développement des modèles mathématiques qui permettent d'estimer la charge bactérienne après l'utilisation de ces deux produits pour en déduire leur impact sur la barrière cutanée et ainsi déterminer leur sécurité et leurs effets secondaires sur le consommateur. Enfin, on a expérimenté le système de surveillance que nous avons programmé et on a vérifié son fonctionnement et comparé ses résultats avec ceux des méthodes classiques.

Les résultats obtenus révèlent que la bactérie isolée de la peau est *Staphylococcus haemolyticus* et que les deux produits ont un effet sur elle, le gel étant classé comme bactéricide et le sérum comme bactériostatique, après avoir obtenu des modèles de la température, de la charge bactérienne et du pH des deux produits et enfin vérifié le fonctionnement du système de surveillance qui a fourni ses résultats en un temps record.

Mots clés : Aloe vera, Arduino, produits cosmétiques, microbiote cutané, modélisation, *Staphylococcus haemolyticus*

Abstract

The aim of the work carried out as part of this dissertation was to set up an Arduino-based surveillance system to follow the development of bacteria under several conditions in order to see how two synthetic moisturizing cosmetic products (aloe vera gel and aloe vera serum) affect the skin microbiota.

To do this, we first identified a bacterial species of the skin microbiota isolated from healthy skin and studied the effect of the two products on it in vitro using conventional methods. We then developed mathematical models to estimate the bacterial load after the use of these two products in order to deduce their impact on the skin barrier and thus determine their safety and side effects on the consumer. Finally, we tested the monitoring system we had programmed, checked how it worked and compared its results with those of conventional methods.

The results obtained show that the bacteria isolated from the skin is *Staphylococcus haemolyticus* and that both products have an effect on it, the gel being classified as bactericidal and the serum as bacteriostatic, after obtaining models of the temperature, bacterial load and pH of the two products and finally checking the operation of the monitoring system, which delivered its results in record time.

الملخص

كان الهدف من العمل الذي تم تنفيذه في إطار هذه الأطروحة هو إنشاء نظام مراقبة قائم على الأردوينو لمتتبع تطور البكتيريا في ظل عدة ظروف من أجل معرفة كيفية تأثير اثنين من مستحضرات التجميل الاصطناعية المرطبة (جل الصبار وسيروم الصبار) على ميكروبيوتا الجلد.

وللقيام بذلك، عرفنا أولاً نوعاً بكتيرياً من الميكروبيوتا الجلدية المعزولة من الجلد السليم ودرسنا تأثير المنتجين عليه في المختبر باستخدام الطرق التقليدية. ثم طورنا نماذج رياضية لتقدير كمية البكتيريا بعد استخدام هذين المنتجين من أجل استنتاج تأثيرهما على حاجز الجلد وبالتالي تحديد مدى سلامتهما وآثارهما الجانبية على المستهلك. أخيراً، اختبرنا نظام المراقبة الذي قمنا ببرمجته وفحصنا طريقة عمله وقارنا نتائجه مع نتائج الطرق التقليدية.

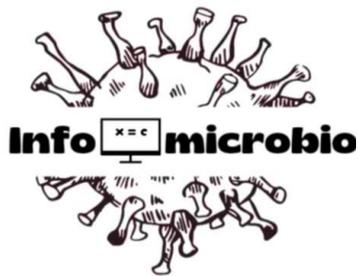
أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن البكتيريا المعزولة من الجلد هي المكورات العنقودية الدموية (*Staphylococcus haemolyticus*) وأن كلا المنتجين لهما تأثير عليها، حيث تم تصنيف الجل على أنه مبيد للجراثيم والمصل على أنه مثبط للجراثيم، وبعد ذلك تم التوصل إلى نماذج لدرجة الحرارة ونسبة البكتيريا ودرجة الحموضة في المنتجين والتحقق أخيراً من عمل نظام المراقبة الذي قدم نتائجه في وقت قياسي.

Temple
startup

Titre du projet

Étude de l'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané par conception d'un système de surveillance Arduino

Logo



Nom commerciale



Bio tech

Table de matieres

I	Présentation du projet.....	65
II	Idée de projet (solution proposée)	65
III	Aspects innovants	66
III.1	Déterminer le problème rencontré par le client.....	66
III.2	La valeur proposée selon les critères suivants.....	67
IV	Analyse stratégique du marché.....	68
IV.1	Taille du marché	68
IV.2	Consommation de produits cosmétiques.....	68
IV.3	Production locale.....	68
IV.4	Dépendance aux importations	68
IV.5	Tendances du marché	69
IV.6	Politiques gouvernementales.....	69
V	Plant de production et organisation	69
V.1	Capacité de production	69
V.2	Choix des matériels de base.....	69
V.3	Processus de fonctionnement du système	70
V.4	Contrôle de la qualité	70
V.5	Optimisation des processus de production.....	70
VI	Plan financier.....	70
VI.1	Structure des coûts	70
VI.2	Coûts fixes de projet.....	71
VI.3	Source des revenus	72

I Présentation du projet

Le microbiote cutané est un écosystème complexe constitué de micro-organismes qui résident à la surface et à l'intérieur de la peau. Il joue un rôle essentiel dans la santé et la beauté de notre peau. Il agit comme une barrière protectrice, repoussant les ennemis invisibles et maintenant l'équilibre de la peau.

D'autre part un cosmétique est une préparation qui entre en contact avec l'épiderme dans le but principal de les nettoyer, les parfumer ou les protéger... etc. Mais parfois l'utilisation de certains produits cosmétiques peut perturber l'équilibre fragile de la microflore et dégrader la diversité microbienne, laisser la peau sensible aux agressions extérieures.

Ce déséquilibre du microbiote cutané (dysbiose cutanée), peut engendrer de nombreux effets néfastes, comme : Peau sèche & irritée, Acné, Psoriasis, Eczéma.

Les normes de sécurité et les protocoles d'évaluation peuvent parfois être insuffisants pour garantir la sécurité totale des utilisateurs. De la cosmétique est en plein développement, mais la sécurité des produits et leur impact sur la microflore cutanée sont souvent négligés.

Dans ce concept, on s'intéresse de développement d'un système automatique programmé peut aider à évaluer la charge bactérienne et donc la sécurité des produits cosmétiques.

II Idée de projet (solution proposée)

La solution établie est d'automatiser l'évaluation de la charge bactérienne par l'utilisation d'un système de surveillance basé sur Arduino qui permet de mettre en œuvre le modèle de vérification de la sécurité des produits dans un temps réduit et minimisé de gaspillage des matériaux.

III Aspects innovants

III.1 Déterminer le problème rencontré par le client

<p>Problème à résoudre</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les produits cosmétiques contiennent des additifs chimiques, synthétiques, toxiques pour notre 1^{re} barrière de défense le microbiote cutané ce qui provoque carence de sécurité
<p>Donnés disponibles indiquant l'existence d'un problème identifié</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le marché algérien de cosmétologie et skin care englober des produits d'importation de bonne qualité et certifiés qu'ils sont sécurisés, mais très chères par contre, la synthèse des produits locaux est en croissance, mais il y a un manque de contrôle de qualité, surtout sur la microflore cutanée, donc considérée comme non sécurisée. ➤ Des études montrent qu'il y a eu des produits cosmétiques provoquant des imperfections de peau et des maladies cutanées ➤ Le coût élevé de l'étude de l'impact des produits sur les bactéries bénéfiques et la longue durée des essais. ➤ L'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané influencé directement leur efficacité
<p>D'autres projets ciblant le même problème qui ont été mis en œuvre</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Modèle in vitro pour étudier l'impact des cosmétiques sur les micro-organismes cutanés ➤ Étude pilote sur l'effet des produits de soin sur la structure microbienne cutanée et les paramètres biophysiques ➤ The impact of skin care products on skin chemistry and microbiome dynamics ➤ Patient Health Monitoring System Using Arduino & ESP8266
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Détecter et minimiser l'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané, ainsi contrôler leur sécurité.

Buts de projet	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilite le développement des logiciels pour l'évaluation de l'impact par un système combine la mesure et la régulation des différents paramètres.
-----------------------	--

III.2 La valeur proposée selon les critères suivants

Valeur innovante	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La flexibilité du système de surveillance Arduino permet la régulation du code de programme pour élargir son utilisation à d'autres domaines d'étude des bactéries. ➤ Ce dispositif pourrait également être utilisé pour remplacer les bioréacteurs automatiques coûteux actuellement importés. ➤ Développement des logiciels pour l'évaluation de l'impact
Valeur personnalisée	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Optimisation des paramètres de culture ➤ Surveillance en temps réel ➤ Contrôle de la qualité et Sécurité du produit
Rapport qualité prix	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Moins coûteux ➤ Domaine d'application polyvalente
Valeur par conception	/
Valeur de haute performance	/
Valeur de service complete	/

IV Analyse stratégique du marché

IV.1 Taille du marché

Le marché cosmétique algérien est dominé par les entreprises privées, avec des marques comme Dermal Group et Ines Cosmetics qui se positionnent sur le marché local et cherchent à exporter. Cependant, la part de marché des entreprises publiques reste significative, avec l'ENPC comme acteur majeur

Le marché des produits cosmétiques en Algérie est en pleine croissance, avec une valeur estimée à 2,39 milliards de dollars US d'ici 2028. La part de marché des cosmétiques naturels devrait également augmenter, atteignant 35,91 millions d'euros en 2028]. Cependant, malgré cette tendance aux produits plus naturels, l'utilisation massive de produits cosmétiques en Algérie soulève des inquiétudes quant à leur impact sur le microbiote cutané de la population.

IV.2 Consommation de produits cosmétiques

Le marché des produits cosmétiques en Algérie connaît une croissance constante ces dernières années. En 2020, le chiffre d'affaires du marché était estimé à plus de 1,5 milliard de dollars.

Cette consommation de cosmétiques en Algérie est significative, avec une préférence marquée pour les produits de soins de la peau, les soins capillaires et les produits de maquillage. La valeur du marché a augmenté ces dernières années, en partie grâce à l'augmentation du pouvoir d'achat et à l'influence des tendances mondiales.

IV.3 Production locale

Il n'y a pas d'un système automatique disponibles pour étudier la sécurité des produits cosmétiques en Algérie. Cependant, le développement d'un système de surveillance Arduino pour étudier l'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané pourrait stimuler l'innovation locale dans ce domaine.

IV.4 Dépendance aux importations

L'Algérie dépend largement des importations de produits cosmétiques. En 2021, elle a importé pour une valeur dépassant les 2 milliards de dollars. Le développement d'un système de surveillance Arduino pourrait aider à réduire cette dépendance en favorisant la production locale de produits cosmétiques respectueux du microbiote cutané.

IV.5 Tendances du marché

Les tendances du marché des produits cosmétiques en Algérie sont similaires à celles observées au niveau mondial. Les consommateurs sont de plus en plus sensibilisés à l'impact des produits cosmétiques sur la santé de la peau et du microbiote cutané. Ils recherchent des produits naturels, éthiques et durables. Le développement d'un système de surveillance Arduino pourrait aider les entreprises à répondre à ces attentes en leur fournissant des données sur l'impact de leurs produits.

IV.6 Politiques gouvernementales

Le gouvernement algérien a mis en place des politiques et des incitations visant à promouvoir l'industrie cosmétique, telles que des mesures de soutien à la production locale et des réglementations environnementales.

V Plant de production et organisation

V.1 Capacité de production

La prise de conscience accrue de l'importance du microbiote cutané en Algérie favorise la demande de cosmétiques locaux sûrs et testés. Pour cela, les fabricants ont besoin d'utiliser des programmes d'évaluation de la charge bactérienne qui leur permettent de s'assurer que le produit contient des bactéries bénéfiques et aucun germe pathogène nocif. Ils peuvent ainsi mettre au point des produits cosmétiques qui préservent l'équilibre naturel du microbiome cutané et évitent d'en perturber la composition. Leur objectif est de proposer des produits sûrs et efficaces qui renforcent la barrière cutanée tout en favorisant une flore microbienne saine.

Première année (2025) : 100 000 unités de produits cosmétiques sécurisés vendues.

Deuxième année (2026) : Une augmentation de 40% par rapport à l'année précédente.

Troisième année (2027) : Une augmentation de 30% par rapport à l'année précédente.

Ces chiffres sont donnés à titre indicatif et peuvent varier en fonction de divers facteurs tels que la demande réelle du marché, la concurrence, les politiques gouvernementales et la sensibilisation des consommateurs.

V.2 Choix des matériels de base

Des composants électroniques simples (capteurs et actionnaires, etc.)

V.3 Processus de fonctionnement du système

Le processus doit être respecté, les normes et les méthodes de microbiologie, on commence par programmation et montage de systèmes

L'étape suivante est de collecter les résultats réels des expériences dans le but d'analyser et interpréter pour faire la modélisation afin de mettre une base de données pour un logiciel spécifique à souche bactérienne et produit déterminé peut être utilisable par l'entreprise ou le consommateur pour valider la sécurité

V.4 Contrôle de la qualité

Mettez en place des procédures de validation pour vérifier la conformité le bon fonctionnement du système et l'efficacité du logiciel

V.5 Optimisation des processus de production

- Améliorer la qualité du produit cosmétique en utilisant le logiciel d'estimation de la charge bactérienne
- Recherche et développement : Investissez dans la recherche et le développement pour améliorer le système
- Réduire les coûts de production des produits cosmétiques et augmenter l'efficacité.

VI Plan financier

VI.1 Structure des coûts

Frais d'établissement	100000 DA
Logiciels, formations	30000 DA
Dépôt marque, brevet, modèle	100000 DA
Droits d'entrées	100000 DA
Achat fonds de commerce ou parts	100000 DA
Droit au bail	240000 DA
Caution ou dépôt de garantie	90000 DA
Frais de dossier	20000 DA

Frais de notaire ou d'avocat	30000 DA
Enseigne et éléments de communication	150000 DA
Achat immobilier	/
Travaux et aménagements	100000 DA
Matériel	25000 DA
Matériel de bureau	250000 DA
Stock de matières et produits	100000 DA
Trésorerie de départ	500000 DA

Somme :1890000 DA

VI.2 Coûts fixes de projet

Assurances	20000 DA
Téléphone, internet	10000 DA
Autres abonnements	/
Carburant, transports	/
Frais de déplacement et hébergement	10000 DA
Eau, électricité, gaz	10000 DA
Mutuelle	10000 DA
Fournitures diverses	/
Entretien matériel et vêtements	20000 DA
Nettoyage des locaux	10000 DA
Budget publicité et communication	30000 DA

Somme : 120000 DA

VI.3 Source des revenus

Apport personnel ou familial	25000 DA
Apports en nature (en valeur)	/
Prêt n°1 (nom de la banque)	Le Fonds National de Financement des Entreprises Emergentes (ASF) 1000000 DA
Autre financement (libellé)	Investissement à partir d'un entrepreneur 1000000 DA

Somme : 1000000 DA

Designed for:

Designed by:

Date:

Version:

Business Model Canvas

Key Partners	Key Activities	Value Propositions	Customer Relationships	Customer Segments
<p>-Développeurs de produit cosmétique</p> <p>-microbiologistes</p> <p>-Fournisseur</p> <p>-Les experts</p>	<p>Programmation de logiciel</p>	<p>-Détecter et minimiser l'impact des produits cosmétiques sur le microbiote cutané, ainsi contrôler leur sécurité.</p> <p>- développement des logiciels pour l'évaluation de la charge bactérienne</p> <p>CARACTÉRISTIQUES :</p> <p>Nouveauté,</p> <p>Performances,</p> <p>Prix, réduction des coûts,</p> <p>Réduction des risques</p> <p>accessibilité</p>	<p>-Avec les affiches publicitaires.</p> <p>-Publicité sur des sites internet et sur TV.</p> <p>-Assister à des salons nationaux et International pour présenter notre produit.</p> <p>-Participer à des séminaires.</p>	<p>-Les entreprises de fabrication des cosmétiques</p> <p>-Les développeurs de produit cosmétique ou produits nécessite une étude microbiologique</p>

Innovation

Key Resources

-Financiers

-Des investisseurs :

Le Fonds National de

Financement des

Entreprises Emergentes

Channels

Ventes directes

Cost Structure 1890000 DA

Revenue Streams 2000000 DA