



**HAL**  
open science

# Amélioration du procédé de séchage de protéines alimentaires par lévitation acoustique

Camille Lefebvre

► **To cite this version:**

Camille Lefebvre. Amélioration du procédé de séchage de protéines alimentaires par lévitation acoustique. Food engineering. 2023. hal-04208119

**HAL Id: hal-04208119**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04208119>**

Submitted on 15 Sep 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**Année 2022 – 2023**

**INGENIEUR POLYTECH LILLE**  
**GENIE BIOLOGIQUE ET ALIMENTAIRE**

## **Mémoire de stage**

**Amélioration du procédé de séchage de protéines  
alimentaires par lévitation acoustique**



**Etudiante : Camille Lefebvre**  
**Tuteur entreprise : Cécile Le Floch-Fouéré**  
**Tuteur école : Walter Nuninger**

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>PRESENTATION DE L'INSTITUT</b>	<b>2</b>
<b>I. L'INRAE</b>	<b>2</b>
<b>II. L'UMR STLO</b>	<b>2</b>
<b>III. CONTEXTE ECONOMIQUE ET CONCURRENCE</b>	<b>3</b>
<b>CAHIER DES CHARGES DU STAGE</b>	<b>4</b>
<b>I. DEFINITION DU SUJET</b>	<b>4</b>
1) LES PROTEINES ALIMENTAIRES	4
2) LE PROCEDE DE SECHAGE	5
3) LA LEVITATION ACOUSTIQUE	6
4) CONTEXTE	6
<b>II. MISSIONS CONFIEES</b>	<b>7</b>
1) MISSION 1	7
2) MISSION 2	8
3) MISSION ANNEXE	8
<b>III. MOYENS MIS A DISPOSITION</b>	<b>8</b>
<b>IV. RESULTATS ATTENDUS</b>	<b>9</b>
<b>COMPTE RENDU DE L'ACTIVITE</b>	<b>11</b>
<b>I. DEMARCHE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET HUMAINE</b>	<b>11</b>
<b>II. OUTILS ET METHODES</b>	<b>12</b>
1) LA PREPARATION DES SOLUTIONS DE WPI ET NPC	12
2) LE LEVITATEUR ACOUSTIQUE	13
3) LE SECHAGE D'UNE GOUTTE	14
4) L'ACQUISITION DE DONNEES	14
5) L'ANALYSE D'IMAGE	15
<b>III. RESULTATS</b>	<b>16</b>
1) AMELIORATION DE L'ECLAIRAGE	16
2) STANDARDISATION DU VOLUME ET DE LA TENSION	16
3) MAITRISE DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE	17
<b>POINT COMPETENCES</b>	<b>20</b>
<b>BILAN DE MON STAGE A L'INRAE</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>26</b>

## Introduction

---

Ce rapport reprend les éléments les plus importants de mon stage d'assistant ingénieur que je réalise à l'INRAE STLO à Rennes du 24 avril au 21 juillet 2023. Il présente l'entreprise dans laquelle j'ai évolué, les missions qui m'ont été confiées mais surtout, ce rapport /présente/ la démarche d'acquisition de compétence liée à mon activité.

Vous pouvez me contacter par mail [camille.lefebvre9.etu@univ-lille.fr](mailto:camille.lefebvre9.etu@univ-lille.fr) et au 06 95 11 28 03.

Vous pouvez également contacter ma tutrice entreprise Cécile Le Floch-Fouéré par mail [cecile.lefloch-fouere@agrocampus-ouest.fr](mailto:cecile.lefloch-fouere@agrocampus-ouest.fr) et au 06 61 59 11 82.

L'intitulé de stage est : « Amélioration du procédé de séchage de protéines alimentaires par lévitation acoustique ».

## Présentation de l'institut

---

### I. L'INRAE

L'INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement) est un institut de recherche public créé le 1er janvier 2020 par la fusion entre l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et IRSTAE (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture).

L'INRA fut créé à la suite de la Seconde guerre mondiale (en 1946) pour répondre aux besoins de la population alors qu'une pénurie alimentaire s'entendait sur le territoire. Ses missions étaient alors d'associer science et technologie afin d'améliorer les techniques de l'agriculture et de l'élevage en France. L'IRSTAE était aussi un institut de recherche public, créé en 2012. La fusion des deux entités est justifiée par la complémentarité des sujets de recherches sur les questions de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

L'INRAE a été créé pour apporter et diffuser des connaissances scientifiques dans l'accompagnement des transitions vers l'agriculture et l'alimentation de demain, qui doivent protéger et restaurer notre environnement tout en favorisant une bioéconomie responsable basée sur des ressources renouvelables. S'y ajoutent des enjeux plus territorialisés qui incluent les conditions de vie et de rémunération des agriculteurs, la compétitivité économique des entreprises, l'aménagement des territoires, l'accès à une alimentation saine et diversifiée pour chacun.

### II. L'UMR STLO



Figure 1 : Répartition des 18 centres de recherche INRAE en France (INRAE 2020-2023)

L'INRAE est divisé en 18 centres de recherches et en 14 départements de recherche et direction scientifique allant de la génétique animale à l'économie et sciences sociales.

Mon stage se déroule à l'UMR STLO de Rennes (Unité Mixte de Recherche – Science et Technologie du Lait et de l'œuf) qui dépend du centre de recherche INRAE Bretagne – Normandie et du département TRANSFORM. L'objet d'étude du département TRANSFORM est les processus de transformation de matières organiques en aliments et produits bio-sourcés ; valorisation des résidus de l'activité humaine.

L'activité principale de l'UMR STLO de Rennes est la recherche spécialisée dans les sciences de l'alimentation notamment les produits laitiers et ovoproduits. Ses recherches se concentrent sur l'amélioration de la qualité, de la sécurité et des procédés industriels des aliments tout en contribuant au développement durable. Ainsi, l'unité se divise en quatre équipes : MICROBIO – BN – PSF – SAPHIRE et en deux transversalités : LOVE (Lait-Œuf-Végétal) – FI (Amélioration des Formules infantiles) (**Annexe 1**). Pour cela, les équipes s'intéressent à l'étude des propriétés physiques, chimiques et microbiologiques des aliments, ainsi qu'à leur transformation et conservation.

Les équipes sont indépendantes les unes des autres, de même que les salariés sont associés en fonction des projets qu'ils ont montés ou qui leurs sont attribués.

L'UMR STLO rassemble du personnel INRAE et Institut Agro (enseignement). Ainsi, l'unité est composée de chercheurs permanents et de non permanents, d'enseignants-chercheurs, de techniciens, d'ingénieurs et de personnel administratif (environ 140 personnes). On retrouve également au sein de l'UMR des cellules R&D de sociétés privées qui peuvent bénéficier des installations de l'unité. Je fais partie de l'équipe PSF (Procédé – Structure – Fonctionnalité) qui est composée de 25 permanents et d'une dizaine de non permanents. Ma tutrice de stage, Cécile Le Floch-Fouéré est co-responsable de cette équipe, mais également professeure en génie des procédés alimentaires à l'Institut Agro Rennes Angers.

### III. Contexte économique et concurrence

L'INRAE est principalement financé par des fonds publics et notamment par le MESRI et le MAA. L'institut est également financé par l'Union européenne, les collectivités territoriales, les établissements de recherche en partenariat et les entreprises privées dans le cas de contrats de recherche. Ainsi en 2021, le budget de l'INRAE était de 1 045,44 millions.

Dans le contexte économique actuel, il est important pour l'INRAE de continuer à développer des partenariats et à diversifier ses sources de financement. Cela permet de garantir la pérennité des activités de recherche, ainsi que la capacité à mener des projets innovants et répondre aux défis sociétaux. L'INRAE s'efforce également de valoriser ses résultats de recherche en favorisant le transfert de connaissances vers les acteurs économiques, notamment l'industrie agroalimentaire, pour contribuer au développement économique du secteur.

L'INRAE ne possède pas de concurrence car c'est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), il a donc un caractère administratif. Cela signifie qu'il exerce une mission de service public administratif : « Leur objet principal n'est ni industriel ni commercial » (*Code de la recherche, livre III : Les établissements et organismes de recherche*). Cet établissement est sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Enseignement supérieur, la Recherche et l'Innovation (MESRI) et celui chargé de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA).

# Cahier des charges du stage

## I. Définition du sujet

L'intitulé du stage réalisé est « Amélioration du procédé de séchage de protéines alimentaires par lévitation acoustique ». Ce stage s'inscrit dans un projet expérimental récemment élaboré en collaboration entre l'unité BIA (Biopolymères Interactions Assemblages) de Nantes et l'unité STLO de Rennes. L'objectif de ce projet est d'étudier le séchage des protéines contenue dans le lait de vache par lévitation acoustique. Cette approche novatrice vise à approfondir l'analyse de la transition gouttelette-particule lors du séchage, en proposant une méthode intermédiaire entre le séchage sur support et l'échelle industrielle.

Pour comprendre au mieux les enjeux et contexte de ce stage, cette partie est divisée en plusieurs sous parties. En effet, ce stage possède un contexte très technique qui est nécessaire d'introduire pour une meilleure compréhension.

Dans la suite de ce rapport une « goutte » désigne un volume de solution protéique avant le séchage et un « grain » désigne le résultat du séchage.

### 1) Les protéines alimentaires

Les protéines sont des macromolécules biologiques composées d'un ensemble ordonné d'acide aminé. Chaque protéine possède un enchainement d'acide aminé différent ce qui entraîne une grande variété de structure, et permet d'assurer les fonctions biologiques des êtres vivants. Ainsi, il en existe des milliers voire des millions de variétés différentes. On les retrouve dans tous les tissus vivants mais aussi dans l'alimentation : plantes, fruits, œuf, lait. Ce sont par ailleurs les protéines du lait de vache qui sont étudiées lors de ce stage.

La composition du lait de vache est indiquée dans la **figure 2**.

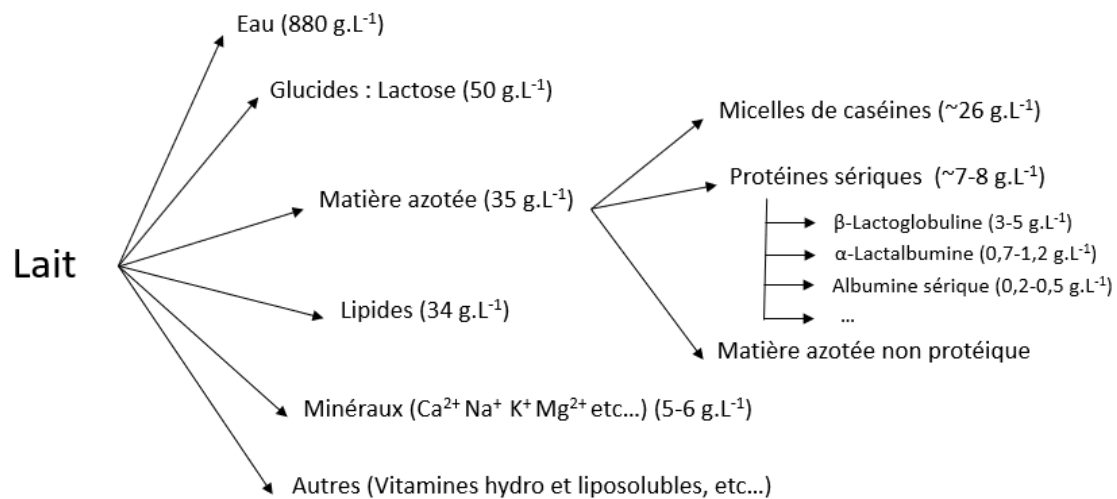


Figure 2: Composition du lait de vache (adapté de Jimenez-Lopez, A. et al. 2007)

L'étude du séchage des protéines alimentaires concernent deux types de protéines laitières : des protéines sériques et les micelles de caséine. Elles seront étudiées seule et en mélange afin d'observer leur comportement lors du procédé de séchage. Dans la suite de ce rapport, les protéines sériques et les micelles de caséines seront désignées respectivement par WPI (Whey Protein Isolate) et NPC (Native PhosphoCaseinates). Certaines de leurs propriétés sont précisées dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Propriétés des protéines de lait WPI et NPC à pH = 4,6 et T=20°C (adapté de Sadek C. 2015 et Cheftel, J.C. et Lorient, D. 1982)

	WPI	NPC
<b>SOLUBILITE</b>	Solubles dans l'eau	Insolubles dans l'eau
<b>STRUCTURE</b>	Protéines globulaires	Inconnue
<b>TAILLE (NM)</b>	18 ± 17	208 ± 97
<b>PHI</b>	5,5	4,6
<b>CONCENTRATION A LA TRANSITION SOL GEL (G/L)</b>	414	156
<b>PROPRIETE MECANIQUE APRES SECHAGE</b>	Cassant	Ductile

## 2) Le procédé de séchage

Le séchage est un procédé couramment utilisé dans de nombreux secteurs industriels pour éliminer complètement ou partiellement l'eau d'un produit. L'objectif de cette opération peut être de concentrer le produit, de prolonger sa durée de conservation, de faciliter son stockage ou son transport. Le lait est un exemple courant de produit subissant l'opération de séchage. En France, 17% (voir **figure 3**) de la production laitière est transformé en poudre. La majeure partie est transformée en poudre de lait pour simplifier le stockage et le transport et allonger la durée de vie du produit. L'autre partie est utilisée pour produire des produits à fonctionnalité nutritionnelle tels que les poudres infantiles ou les poudres à destination des sportifs. Les poudres lait se retrouve dans de nombreuses industries en temps d'ingrédient fonctionnel pour ses propriétés émulsifiantes, liantes, etc. (Sadek C. 2015)

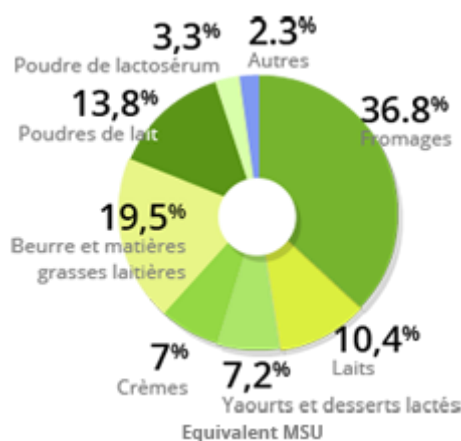


Figure 3 : Utilisation du lait en France (CNIEL d'après FranceAgriMer 2013)

Afin de récupérer les protéines laitières et d'en faire des produits plus spécifiques, il est nécessaire de sécher cette matrice alimentaire. Pour sécher une matrice alimentaire il existe plusieurs méthodes de séchage : par de l'air chaud, le vide, la lyophilisation ou l'utilisation de substances absorbantes.

En industrie laitière, le séchage du lait se fait généralement par pulvérisation (spray-drying ou atomisation). Le lait est d'abord prétraité pour éliminer les impuretés et les composants indésirables.

Ensuite, le lait est chauffé et concentré pour réduire sa teneur en eau. Le lait concentré est ensuite pulvérisé sous forme de fines gouttelettes dans une chambre de séchage chauffée par de l'air chaud. L'air chaud provoque l'évaporation instantanée de l'eau présente dans les gouttelettes de lait, laissant ainsi des particules de lait séché en suspension dans l'air. Ces particules sont ensuite collectées et transformées en lait en poudre. (Gomez F et Saleh K. 2012)

Le séchage du lait est une étape cruciale en industriel. La poudre doit être contrôlée pour préserver ses qualités organoleptiques. Des conditions de température, d'humidité et de débit d'air précis sont établies pour assurer une évaporation rapide et uniforme de l'eau, tout en minimisant les altérations des composants sensibles du lait, tels que les protéines et les nutriments. La maîtrise de ces paramètres de séchage est essentielle pour obtenir un lait en poudre de haute qualité, offrant une bonne reconstitution dans l'eau et une longue durée de conservation. (Gomez F et Saleh K. 2012)

Ainsi, connaître le mécanisme de formation de poudre au niveau du grain permettra de connaître l'effet des protéines sur la formation du grain et de maîtriser au mieux le procédé de séchage pour assurer la qualité de la poudre de lait.

### 3) La lévitation acoustique

La lévitation acoustique est une méthode visant à suspendre de la matière dans l'air en utilisant les phénomènes de pression et de radiation à partir d'ondes sonores intenses. La force de gravité est absente lorsqu'on utilise un lévitateur acoustique, créant ainsi une microgravité artificielle.

La lévitation acoustique est générée en produisant une onde acoustique par la vibration d'un objet matériel, tel que les cordes d'une guitare. Dans le cas des lévitateurs acoustiques, ce sont les transducteurs qui génèrent cette onde. Les transducteurs fonctionnent comme des haut-parleurs, où une bobine interagit avec un aimant grâce au principe de l'électromagnétisme, entraînant ainsi la vibration de la membrane et la propagation des ondes sonores dans le milieu.

Ces ondes font léviter l'objet en utilisant un phénomène physique similaire à la poussée d'Archimède. Cela signifie qu'il existe une force verticale associée à la différence de pression entre la face supérieure et la face inférieure de l'objet, permettant ainsi sa lévitation.

L'association du séchage et de la lévitation acoustique permet l'observation du séchage macroscopique de la goutte sans que celle-ci ne subisse de force externe. Ainsi, une goutte de solution de protéines laitières peut être mise en suspension dans l'air grâce au lévitateur présent au laboratoire. Une photo de ce dispositif se trouve en **annexe 2** et son utilisation est expliquée dans la partie outils et méthodes.

### 4) Contexte

Ce stage vient à la suite de travaux précédemment réalisés par Lucas Bodin pour son stage de DUT (Mesures physiques) en 2022 à l'INRAE de Nantes. Il a réalisé un compte-rendu de la méthode de lévitation acoustique qui sera utilisée lors de mon stage. Ce résumé reprend les paramètres de réglage du lévitateur, de la caméra et de la prise d'images, ainsi que la taille de la goutte à mettre en lévitation. On retrouve également des résultats de premiers essais réalisés sur des solutions de protéines de lait.

Le projet est porté par cinq titulaires. Deux d'entre eux sont rattachés à l'UMR STLO de Rennes, à savoir Cécile Le Floch-Fouéré, professeure à l'institut Agro Rennes-Angers, et Luca Lanotte, chargé de recherche. Deux autres sont basés au BIA à Nantes, Denis Renard, directeur de recherches, et Adeline Boire, chargée de recherche. Le dernier est Ludovic Pouchard, directeur de recherche au laboratoire Fluides, Automatique et Système Thermiques, Université Paris-Saclay.

En ce qui concerne la bibliographie, il existe plusieurs écrits et thèses qui se sont intéressés à l'étude de la structure interne des mélanges de protéines laitières lors du séchage de gouttes uniques. Cependant, il convient de noter que ces études n'ont pas été réalisées en utilisant la lévitation acoustique, mais plutôt d'autres méthodes disponibles au sein de l'UMR STLO, telles que la méthode



de la « goutte pendante », la méthode de la « goutte sessile » ou encore la méthode « mono-disperse ».

Il est important de noter que chacune de ces méthodes possède ses propres avantages et limites. Mais en s'appuyant sur ces travaux préexistants et avec l'expérimentation par lévitation acoustique, l'analyse de la structure et du comportement des protéines laitières sera enrichie.

L'amélioration du procédé de séchage de protéines alimentaires par lévitation acoustique, s'inscrit dans un objectif de « progresser sur l'analyse physique de la transition gouttelette-particule au cours du séchage par le biais d'une nouvelle approche, intermédiaire idéal entre le séchage sur support et l'échelle industrielle ».

Ce projet expérimental a pour but l'étude des mécanismes de formations des grains contenus dans les poudres alimentaires, notamment celles à base de lait. La finalité de cette étude est de connaître le comportement des protéines lors du séchage d'une goutte afin d'améliorer les procédés industriels de séchage des poudres comme l'atomisation. Les résultats obtenus permettront de maîtriser au mieux la qualité et fonctionnalité des poudres (mouillabilité, solubilité, dispersibilité, granulométrie...).

De plus, la préoccupation de la population pour l'environnement ne cesse de croître. Dans ce contexte, ce projet permet d'explorer le comportement de séchage des protéines animales et végétales, tant individuellement qu'en mélanges. L'étude des mécanismes de formation des particules lors du processus de séchage revêt une importance primordiale, car ces mécanismes ont un impact direct sur les propriétés morphologiques et fonctionnelles des poudres finales. Cette étude des comportements a pour finalité l'utilisation de poudre à base de protéines végétales en tant qu'ingrédient fonctionnel. Pour cela, les protéines de lait seront couplées à des protéines d'origine végétale telle que la patate. Ce mélange de protéines permettra d'étudier l'impact de ces protéines sur la poudre finale dans une optique de substitution des protéines animales par des protéines végétales dans l'alimentation.

## II. Missions confiées

L'amélioration de séchage par lévitation acoustique se divise en deux grands axes. Le premier est la standardisation et amélioration de la méthode de séchage. Le second se concentre principalement sur une étude de la formation et de la structure d'un grain grâce à plusieurs méthodes analytiques.

### 1) Mission 1

La première mission de ce stage consiste à standardiser la méthode de séchage par lévitation acoustique et à adapter les protocoles existants. Le but de cette première mission est de définir des procédures fiables et reproductibles pour mener à bien les expérimentations.

La cinétique de séchage de la goutte dépend de plusieurs paramètres tels que la température, l'humidité de la pièce, le volume de la goutte mais aussi la tension exercée sur celle-ci. Par exemple, une tension plus élevée donnera à la goutte une forme d'éclipse, augmentant ainsi la surface d'échange avec le milieu. Au cours de ma mission, il est crucial de maîtriser ces paramètres afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des expériences. La standardisation de ces paramètres est essentielle pour faciliter l'analyse des résultats.

Les paramètres contrôlables sur le lévitateur à ma disposition sont la tension, l'éclairage et la distance entre la goutte et la caméra. Ces paramètres sont indispensables pour obtenir des données exploitables, notamment des images. Cependant, ils peuvent également être améliorés afin d'optimiser la qualité des données acquises.

En standardisant ces paramètres mentionnés précédemment, nous garantirons le bon déroulement des expérimentations sur les protéines laitières. Cette étape est d'une importance cruciale dans la recherche scientifique.

## 2) Mission 2

La seconde mission consiste à réaliser des expérimentations en effectuant des essais de gouttes en lévitation, notamment sur des mélanges de protéines laitières. Le but de cette seconde mission est de comparer les résultats obtenus avec ceux issus d'autres méthodes d'observation de ces mélanges, telles que les « gouttes sessiles » et les « gouttes pendantes », qui ont été documentées dans la littérature. Des résultats similaires sont attendus et nous permettrons de valider l'utilisation de la méthode de lévitation acoustique pour l'observation de la structure des gouttes pendant le processus de séchage.

Parallèlement, l'utilisation de différentes méthodes analytiques, telles que la microscopie optique ou la spectroscopie (IR, UV), permettront d'observer des paramètres physiques caractéristiques tels que la morphologie, les instabilités mécaniques et la formation de la peau.

Ce stage offre donc une occasion d'approfondir les connaissances sur le séchage des protéines laitières en utilisant la lévitation acoustique comme outil d'investigation. En combinant différentes techniques expérimentales et analytiques, nous pourrions mieux comprendre les mécanismes de formation des particules et d'autoassemblage, contribuant ainsi à l'avancement de la recherche dans le domaine des bio-colloïdes et de la transformation des produits agroalimentaires.

## 3) Mission annexe

Lors de cette première semaine, avant de commencer à proprement parler de mes missions, l'équipe du projet partait en mission au Synchrotron SOLEIL – CNRS – CEA Paris-Saclay. Le synchrotron Soleil à Paris est un grand instrument scientifique qui permet l'étude de la matière à l'échelle atomique et moléculaire. Il s'agit d'un accélérateur à particules qui peut générer des faisceaux de lumière intense plus d'un million de fois plus brillants que le soleil. Il y a 29 lignes de lumière fonctionnelles et leurs domaines d'énergie comprennent les rayons IF, UV, visible, et rayons X (mous, tendres et durs). Des équipes de chercheurs ou doctorants peuvent créer un dossier pour présenter leur projet et justifier l'utilisation d'une de ses lignes de lumière pour une durée variant de quelques heures à plusieurs jours.

L'équipe se composait de Cécile Le Floch-Fouéré, Denis Renard, Ludovic Pouchard et moi-même. Nous avons eu accès à la ligne pendant une journée et demie afin de faire traverser un rayon X à travers une goutte (composition variable) en lévitation. Les gouttes étaient formées à partir de solutions préparées en début de semaine par mes soins avec l'aide d'une technicienne de laboratoire, Françoise Boissel. Cette dernière m'a également exposé les bonnes pratiques de laboratoire ainsi que les protocoles à respecter pour la préparation des échantillons. La composition des échantillons se trouve dans l'**annexe 3**. Il s'agit de solutions que j'ai à nouveau préparé durant mon stage et qui sont utilisés lors du séchage par lévitation.

## III. Moyens mis à disposition

Les moyens mis à disposition pour la réalisation de ce stage sont variés et favorisent un environnement propice à la recherche. D'un point de vue bibliographique, j'ai accès à une multitude d'ouvrages, tant au format papier comprenant des thèses réalisées à l'INRAE, qu'au format numérique via l'intranet de l'INRAE ou grâce à mes encadrants qui partagent leur expertise. Mon espace de travail est équipé d'un bureau ainsi que d'un ordinateur disposant d'une session personnelle. Une salle dédiée à l'utilisation du lévitateur est également mise à ma disposition. Ce dernier a été fourni et installé par Denis Renard, chercheur à l'INRAE de Nantes. De plus, j'ai accès aux laboratoires de l'INRAE pour préparer les différentes solutions nécessaires à mes expérimentations.

En ce qui concerne les ressources humaines, ce projet bénéficie de l'expertise de cinq titulaires de ce projet. Cécile Le Floch-Fouéré, professeure à l'institut Agro Rennes-Angers, et Luca Lanotte, chargé de recherche à l'UMR STLO de Rennes. Denis Renard, directeur de recherches, et Adeline Boire, chargée de recherche qui eux sont basés au BIA à Nantes et Ludovic Pouchard, directeur de recherche au laboratoire Fluides, Automatique et Système Thermiques. En complément, le site de l'UMR STLO

dispose de plusieurs techniciens de laboratoire ainsi que de nombreux membres permanents qui sont toujours disponibles et prêts à m'apporter leurs conseils en cas de besoin.

Le financement de ce projet s'élève à 15 000 euros par an sur une période de deux ans. Cette somme est répartie de la manière suivante : 3 600 euros sont alloués à la rémunération du stage de Master, 8 400 euros sont dédiés aux frais de fonctionnement, et 3 000 euros sont prévus pour couvrir les frais généraux. Ce budget nous permet de réaliser des achats supplémentaires en cas de besoin, afin de répondre aux exigences du projet et d'assurer son bon déroulement.

#### IV. Résultats attendus

Dans nos recherches bibliographiques, nous avons identifié trois études portant sur le séchage de gouttes contenant des protéines laitières (WPI ou NPC). Les résultats de ces études sont présentés dans la **figure 4**. Chaque étude utilise une méthode de séchage différente pour observer la formation des grains. Les méthodes utilisées comprennent la « goutte pendante », la « goutte mono-dispersée » et la « pulvérisation de goutte » (atomisation). Chaque cinétique de séchage diffère. Par exemple, le séchage par pulvérisation dure 10 secondes à 210°C, tandis que le séchage par goutte pendante dure 10 minutes à 20°C.

Les résultats montrent que quelle que soit la méthode ou les conditions de séchage, telles que le temps, la taille de la goutte ou la température (axe horizontal), la structure des particules séchées reste toujours la même. Cette structure dépend uniquement de la composition en protéines de la goutte (WPI ou NPC). Ces différentes approches expérimentales permettent d'analyser la structure et le comportement des mélanges de protéines laitières pendant le processus de séchage. Elles offrent des perspectives complémentaires à la lévitation acoustique en termes d'observations et de mesures. Ce sont ces études sur lesquelles reposent notre hypothèse de recherche. (Sadek C. 2015)

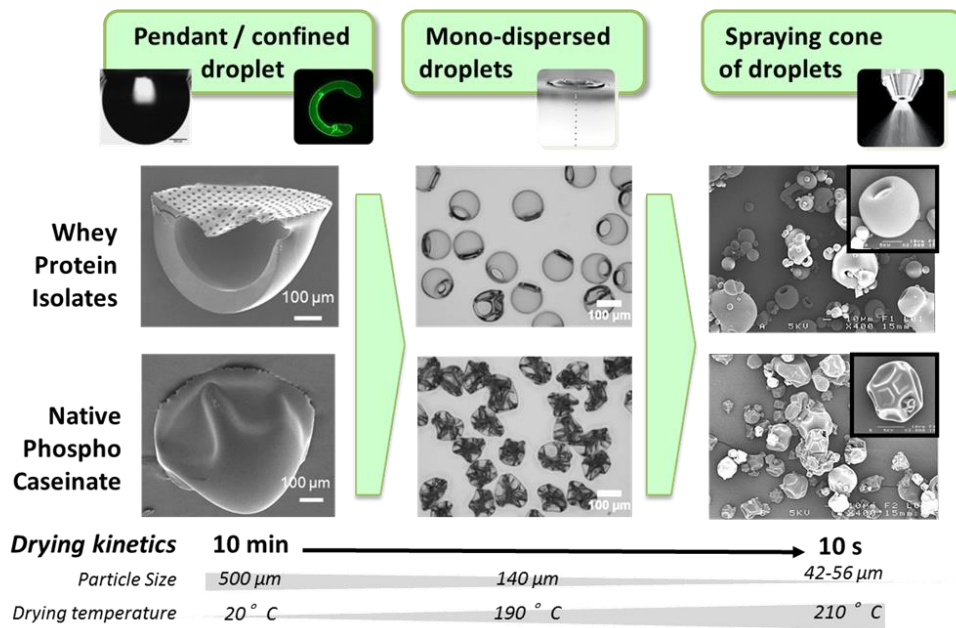


Figure 4 : Exemple de résultats obtenus pour le séchage de protéines laitières (Cécile Sadek, 2015)

Les résultats attendus de ce stage visent à évaluer l'observation par lévitation acoustique, et d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus avec les observations sur les « gouttes sessile », « pendantes » ou « mono dispersées » pour le WPI et NPC. Les premières observations de ces études indiquent que les conditions environnementales n'ont aucun effet sur la structure et les résidus de grains de la goutte. Ni le temps ni la température de séchage, ni la taille de la goutte n'influencent la structure des résidus de grains ou sur la cinétique de séchage. Toutefois, la composition, ou plus précisément le ratio WPI/NPC, semble exercer une influence sur la structure. (Sadek C. 2015) (Yu M.2019)

Les gouttes de WPI forment un trou dans le grain appelé « vacuole ». Le grain prend systématiquement la forme d'un « bocal à poisson » (sphère ouverte sur le dessus).

Les gouttes de NPC forment des « invaginations » qui sont des déformations de l'aspect externe du grain.

## Compte rendu de l'activité

---

### I. Démarche scientifique, technique et humaine

Dans le cadre de ce projet, une approche scientifique déductive a été adoptée, fondée sur l'utilisation d'hypothèses formulées à partir des résultats obtenus dans des études antérieures. L'objectif de cette démarche est d'élargir les connaissances et les résultats dans un domaine déjà exploré, en confrontant les résultats obtenus précédemment avec ceux obtenus à l'aide de la nouvelle méthode de lévitation acoustique.

Comme beaucoup de scientifiques nous nous sommes inspirés de la méthode OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion). À partir des observations faites dans des publications antérieures sur la structure des protéines laitières lors du séchage, nous avons formulé nos hypothèses en prenant en compte les résultats de ces études. Ces hypothèses m'ont été communiquées par ma tutrice Cécile Le Floch-Fouéré au début de mon stage.

Tout comme la formulation d'hypothèse scientifique, une part importante du début du stage a été consacrée à la recherche bibliographique et aux échanges avec les collègues du laboratoire. Ces démarches visaient à approfondir mes connaissances sur le sujet, en examinant les résultats obtenus par le passé ainsi que les phénomènes associés au séchage des protéines laitières. J'ai également bénéficié d'une formation dispensée par Denis Renard, sur les techniques d'expérimentation que j'allais utiliser. Il m'a expliqué le fonctionnement du lévitateur acoustique installé à l'UMR STLO, tandis que Luca m'a guidé dans l'utilisation des différentes techniques d'analyse par imagerie et microscope.

Durant toute la durée de mon stage, j'ai fait preuve d'une grande autonomie dans l'organisation de mon travail, que ce soit au niveau personnel ou pour la réalisation des expérimentations. Étant la seule personne à travailler à plein temps sur ce projet, j'ai bénéficié d'une grande liberté dans la prise de décisions. Cependant, j'ai maintenu une communication régulière avec les responsables du projet. Chaque semaine, j'ai eu un rendez-vous avec ma tutrice afin de faire le point sur l'avancement des expériences, les résultats obtenus et les conclusions qui peuvent en découler. J'ai travaillé de manière autonome tout au long de mon stage, mais il était aussi important pour moi d'obtenir des retours sur mon travail et de partager mes activités. J'ai réussi à résoudre la plupart des problèmes rencontrés de manière occasionnelle, mais en cas de question ou de besoin de suggestions pour surmonter un problème, je n'ai pas hésité à solliciter mes collègues et ma tutrice.

En ce qui concerne l'aspect technique de ce stage, chaque questionnement et chaque décision ont été consignés dans mon cahier personnel, afin de maintenir une trace exhaustive de toutes les actions et des connaissances acquises sur le sujet de la lévitation acoustique. Les expériences réalisées ont été consignées dans un cahier de laboratoire dédié au projet, qui m'a été fourni en début de stage. Certains aspects techniques du projet ont joué un rôle central dans mon organisation. Les contraintes temporelles de chaque expérience, d'une durée d'environ une heure en fonction des conditions expérimentales, ainsi que la nécessité de préparer de nouvelles solutions tous les dix jours environ, ont été des éléments clés à prendre en compte. L'objectif était d'apporter un niveau de rigueur maximal en minimisant autant que possible les facteurs de variation.

## II. Outils et méthodes

### 1) La préparation des solutions de WPI et NPC

Pour étudier l'effet de la concentration d'une protéine laitière (WPI et NPC) sur le processus de séchage, différentes solutions protéiques sont préparées à des concentrations de 10% et 18%. Les solutions mères sont obtenues en diluant la poudre de protéine dans une solution d'azoture de sodium ( $\text{Na}_2\text{N}_3$ ) à des fins de conservation.

La procédure de préparation des solutions mères de concentration 10% est la suivante :

1. Préparer une solution d'azoture de sodium à 0,02% en diluant la poudre dans de l'eau milli Q dans une fiole d'un litre.
2. Dans une bouteille en verre, peser 10 g de NPC (ou WPI) à l'aide d'une balance de précision.
3. Ajouter 90 g de la solution d'azoture à 0,02%. La masse totale doit être de 100 g.
4. Répéter les étapes 2 et 3 avec le WPI (ou NPC).
5. Placer les solutions préparées sur un agitateur équipé de barreaux magnétiques.
6. Régler l'agitateur à une vitesse de 350 tours/minute.
7. Laisser les solutions reposer sous agitation pendant au moins 24 heures.

Il est important de noter que l'azoture de sodium (azide) est hautement toxique et classé comme substance CMR (cancérigène, mutagène et reprotoxique). Par conséquent, il est impératif de porter des équipements de protection individuelle tels que blouse, gants et lunettes lors de la manipulation de la poudre et de la solution d'azide.

En adaptant les masses utilisées dans le protocole, il est possible de préparer des solutions mères à d'autres concentrations.

Les solutions étudiées sont renseignées dans le **tableau 2**. Elles sont réalisées plusieurs fois avec des solutions mères à différentes concentrations. Un exemple de dosage se trouve en **annexe 3**, il s'agit des solutions qui ont été préparés pour la mission au Synchrotron SOLEIL.

Tableau 2 : Composition des solutions étudiées

	Pourcentage de solution WPI	Pourcentage de solution NPC
WPI	100%	0%
WPI/NPC 80/20	80%	20%
WPI/NPC 50/50	50%	50%
WPI/NPC 20/80	20%	80%
NPC	0%	100%

Quand les solutions ne sont pas utilisées en manipulations, elles sont stockées en chambre froide. Au bout de 10 jours, elles sont jetées dans un bidon de récupération adapté. Le tri des déchets liquides est très important car selon le type de produits chimiques recueilli dans un bidon, les traitements d'élimination seront différents.

## 2) Le lévitateur acoustique

Le dispositif expérimental utilisé dans ce stage est composé d'un lévitateur, positionné de manière fixe sur un banc de laboratoire dédié. Le banc comprend plusieurs éléments essentiels, notamment une caméra équipée d'un zoom microscope, un rétro-éclairage assurant une diffusion de lumière constante et homogène, ainsi qu'un générateur de tension permettant de contrôler les forces exercées sur la goutte. Ces éléments sont observables sur la **figure 5**. De plus, un ordinateur doté d'un logiciel spécifiquement développé par le BIA (Patrice Papineau) est utilisé pour l'acquisition et le traitement des images (**figure 6**).



Figure 5 : Photo du banc de lévitation



Figure 6 : Capture d'écran de l'interface du logiciel d'acquisition de données

Avant chaque utilisation du logiciel, il est nécessaire de procéder à l'étalonnage de la caméra. Cette étape consiste à déterminer la taille représentée par un seul pixel de l'image, exprimée en micromètres par pixel ( $\mu\text{m}/\text{px}$ ).

La valeur par défaut du paramètre « shutter » de la caméra est réglée à 4000. Le shutter correspond à la quantité de lumière autorisée à passer à travers la caméra. Par exemple, une valeur élevée facilite la visualisation des gouttes de nature translucide.

### 3) Le séchage d'une goutte

Le processus de séchage de la goutte est influencé par les conditions expérimentales, notamment la température et l'humidité de la pièce. La durée de séchage varie entre 30 minutes et 1 heure 20 minutes en fonction de ces paramètres.

Voici le protocole de séchage de la goutte :

- 1- Allumer la multiprise et l'ordinateur, puis démarrer le logiciel du lévitateur.
- 2- Sélectionner la caméra SVS-VISTEK GmbH exo252MU3.
- 3- Créer un répertoire dans le chemin suivant : C:\users\Acquisition\documents\nom.clk (par défaut, le répertoire est créé à la date du jour).
- 4- Nommer le projet et indiquer le produit étudié.
- 5- Donner un nom au fichier qui sera utilisé pour stocker les données.
- 6- Placer l'étalon dans le lévitateur et appuyer sur "Taille OK" dans l'onglet d'étalonnage.
- 7- Appuyer sur le bouton "Vidéo" pour afficher l'image en direct.
- 8- Dans l'onglet "Timer", sélectionner le répertoire de sauvegarde des données.
- 9- Ajouter l'intervalle souhaité (par exemple, 1 minute) et définir la durée maximale de l'expérience.
- 10- Placer un grillage fin au niveau des transducteurs.
- 11- Déposer la goutte dans le lévitateur à l'aide d'une micropipette. Vérifier que la tension est réglée sur 11V.
- 12- Progressivement, réduire la tension jusqu'à atteindre une valeur de 8V, permettant ainsi à la goutte de devenir sphérique.
- 13- Lancer la mesure en appuyant sur le bouton rouge.
- 14- La mesure s'arrête automatiquement à la fin du temps spécifié ou en appuyant à nouveau sur le bouton rouge.

Une fois la goutte en lévitation, il est déconseillé de toucher le banc, ou la table sur laquelle il repose afin d'éviter de perturber sa suspension et de provoquer sa chute.

Lors du dépôt de la goutte, il peut également arriver qu'une bulle d'air se forme. Dans ce cas, il est nécessaire de retirer la goutte et de déposer une nouvelle goutte pour garantir des conditions de séchage optimales.

Chaque séchage est répété au minimum trois fois. Il est fréquent que la goutte tombe avant la fin du séchage pour diverses raisons, ou que les données obtenues ne soient pas exploitables, mais il est souhaitable d'avoir au moins trois résultats exploitables.

### 4) L'acquisition de données

Pour l'acquisition des données, nous utilisons un logiciel développé par deux collègues de l'INRAE, qui est connecté à une caméra. Ce logiciel permet de prendre des photos de la goutte en lévitation à des intervalles réguliers pendant une durée déterminée. Selon les conditions expérimentales, le séchage de la goutte dure entre 30 minutes et 1 heure 30 minutes, avec une prise de photo toutes les minutes. Les photos sont ensuite enregistrées dans le dossier correspondant. Chaque photo est donc associée à un temps ce qui permet de connaître la forme de la goutte et du grain au cours du séchage.

Le logiciel effectue également des calculs de surface et de superficie de la goutte, et génère une courbe en temps réel pour suivre le processus de séchage. Lorsque la superficie cesse de changer, cela indique que le séchage est terminé.

Cependant, il est important de noter que cette indication peut ne pas toujours être fiable. En raison de la forme du grain ou d'éventuelles instabilités en lévitation, la goutte peut commencer à tourner sur elle-même ou même à tomber, ce qui peut affecter l'analyse d'image réalisée par le logiciel.



## 5) L'analyse d'image

L'analyse des images est d'abord réalisée manuellement. Les résultats bruts sont récupérés et examinés pour étudier la cinétique de séchage. Quatre contrôles d'image sont effectués.

Le premier contrôle consiste en une observation générale du séchage. Les questions suivantes sont posées : les données sont-elles enregistrées ? (oui). Y a-t-il eu un problème lors du séchage, comme la chute opportune de la goutte ? (non). Y a-t-il l'apparition d'une bulle dans la matrice ? (non). Si aucun problème n'est détecté, trois indicateurs sont relevés.

Le premier correspond au temps d'apparition d'une invagination. Il est associé à l'image où la première invagination devient visible. Pour sélectionner cette image, on compare deux à deux toutes les images. Les signes d'apparition d'une invagination sont le passage d'une partie de la goutte de forme ronde à une forme de droite comme indiqué sur la **figure 7**.

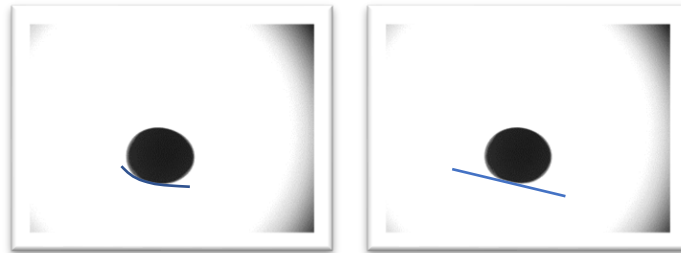


Figure 7 : Aspect d'une goutte de NPC 18% à  $t = 14$  min et  $t = 15$  min. La vacuole apparaît à  $t = 15$  min

Le deuxième correspond au temps d'apparition d'une vacuole. Il est associé à l'image où la vacuole devient visible. Pour sélectionner cette image, on compare deux à deux toutes les images. La vacuole est la formation d'un trou dans la goutte, elle apparaît à l'écran comme une tache noire dans la partie supérieure de la goutte comme indiqué sur la **figure 8**.



Figure 8 : Aspect d'une goutte de WPI 18% à  $t = 27$  min et  $t = 28$  min. La vacuole apparaît à  $t = 28$  min

Le troisième temps correspond à la fin du séchage. Pour le déterminer, il faut observer quatre photos où la goutte présente la même apparence, puis choisir le temps de l'image numéro deux. Ce temps se situe après la formation de l'invagination et de la vacuole. Un exemple de ce phénomène est en **figure 9**.

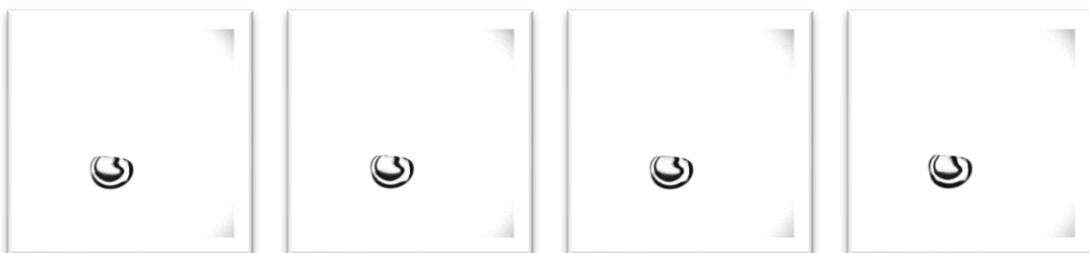


Figure 9 : Aspect d'une goutte de WPI 18% à  $t = 65$  min à  $t = 68$  min. Le temps de fin de séchage est à  $t = 66$  min

Ces méthodes d'analyses ne sont pas très précises et peuvent dépendre de l'observateur, mais elles restent rapides et efficaces pour trier les données brutes.

Ces données seront par la suite analysées par le logiciel spécialisé en analyse d'image ImageJ.

### III. Résultats

#### 1) Amélioration de l'éclairage

Afin d'observer au mieux la goutte lors du séchage, l'une des premières améliorations réalisées sur le banc et d'avoir remplacer l'éclairage 5x5 cm par un plus grand éclairage 50x50 cm. On peut observer les changements effectués entre les 2 photos (**Figure 10**).

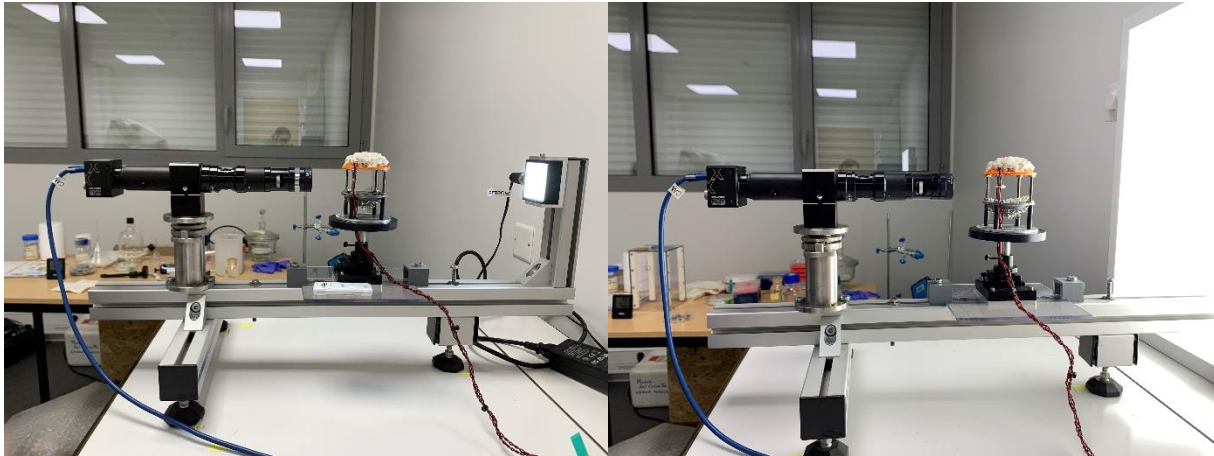


Figure 10 : à gauche, le banc de lévitation avant améliorations, à droite, le banc avec améliorations.

Pour en arriver à ce choix, j'ai réalisé trois essais de séchage d'une solution de WPI à 18 % avec un éclairage 5 x 5 cm et 50 x 50 cm. Le retour caméra donne les résultats de la **figure 11**. Ces images sont prises grâce à la caméra au bout de 40 minutes de séchage. Les particules de WPI forment une vacuole lors du séchage (forme de bocal à poissons). Cette structure est plus visible avec l'éclairage 50 x 50. Ainsi on choisit de prendre le grand éclairage pour le reste des essais pour faciliter les observations.

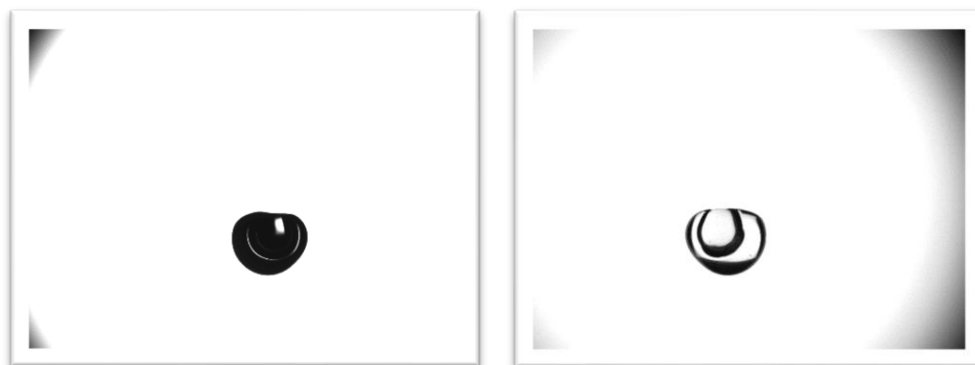


Figure 11 : à gauche, une particule de WPI séchée devant l'éclairage 5 x 5 cm, à droite, une particule de WPI séchée devant l'éclairage 50 x 50 cm

#### 2) Standardisation du volume et de la tension

Lors du stage, des expériences ont été menées pour normaliser le volume des gouttes en lévitation. Deux solutions ont été préparées, une à base de WPI à 18 % et une à base de NPC à 18 %. Les solutions concentrées à 18 % ont été choisies en raison de leur viscosité élevée, ce qui leur permet de rester accrochées aux cônes de la micropipette. Ainsi, un volume plus important est nécessaire pour déposer ces solutions en lévitation. Ce volume standardisé a été utilisé pour toutes les expériences ultérieures.

Dans le but de déterminer le volume optimal, dix gouttes ont été déposées en utilisant six volumes différents, allant de 3  $\mu\text{L}$  à 8  $\mu\text{L}$ . L'objectif était d'observer la facilité de dépôt des gouttes en lévitation. Si le volume de la goutte était trop faible, elle restait accrochée à la pipette. Si le volume était trop important, la goutte n'était pas retenue par la lévitation. De plus, il était essentiel que la goutte puisse maintenir sa forme pendant une durée prolongée sous une tension de 8V. Ainsi, un pourcentage de réussite a été calculé en rapportant le nombre de gouttes en lévitation au nombre total de gouttes déposées. Ils sont repris dans le **tableau 3**.

Les observations ont révélé que le volume le plus facile à déposer en lévitation était de 6 ou 7  $\mu\text{L}$  pour la solution NPC à 18 %. Cependant, il a été décidé d'utiliser un volume de 6  $\mu\text{L}$ , car un volume plus faible permet d'obtenir un séchage plus rapide. Ainsi, le volume de 6  $\mu\text{L}$  a été choisi pour optimiser le temps de séchage des gouttes.

Tableau 3 : Pourcentage de réussite de dépôt de goutte en fonction du volume

Volume NPC ( $\mu\text{L}$ )	3	4	5	6	7	8
Pourcentage de réussite	10%	30%	40%	80%	80%	50%
Volume WPI ( $\mu\text{L}$ )	3	4	5	6	7	8
Pourcentage de réussite	10%	30%	90%	80%	100%	80%

Lors du stage, des expériences ont été réalisées pour standardiser la tension utilisée pendant la lévitation des gouttes. Pour cela, cinq séchages ont été effectués avec la solution NPC à 18% et cinq séchages avec la solution WPI à 18%, tous d'une durée de 40 minutes. L'objectif était d'observer si les gouttes ou grains restaient en lévitation jusqu'au séchage complet. La tension utilisée lors du dépôt était de 11 volts, mais pendant le séchage, elle était réduite à 8 volts. Le choix d'une tension de 8 volts était fait pour obtenir une forme sphérique de la goutte, contrairement à une forme ovale qui se produirait à 11 volts.

Les résultats ont montré que 100% des gouttes de la solution NPC à 18% sont restées en lévitation à 8 volts pendant toute la durée de 40 minutes. En revanche, seulement 40% des gouttes de la solution WPI à 18% sont restées en lévitation pendant la même période. Cependant, après avoir examiné les données brutes, il a été constaté que toutes les gouttes de la solution WPI avaient effectivement atteint la fin du séchage avant de tomber. La tension de 8 volts a été conservée car elle était suffisante pour les expériences menées, et l'utilisation d'une tension plus élevée exerçait des forces qui déformaient la goutte, lui donnant une forme elliptique plutôt que sphérique.

### 3) Maîtrise de la température et de l'humidité

Il est souhaitable de maîtriser l'humidité de la pièce étant donné que l'humidité a un impact sur la cinétique de séchage. Pour ce faire, j'ai installé un déshumidificateur dans la pièce et je l'ai réglé sur 30 % d'humidité relative. Le déshumidificateur nécessite d'être vidé 2 à 3 fois par semaine mais couplée à la climatisation de la salle, qui permet de maintenir la température de la pièce à 20°C, cette installation devait suffire. Cependant, à cause de problèmes techniques tels que la panne du climatiseur, ainsi que la taille du déshumidificateur non adapté à la salle, les conditions de température et d'humidité relative n'étaient pas encore maîtrisées. Afin de surmonter cette difficulté, on m'a conseillé de contacter une verrière, Lucie Pitois, qui travaille régulièrement avec l'UMR STLO. L'objectif était de réaliser une cloche étanche en verre, posé sur lévitateur et contenant des zéolites afin de maîtriser l'environnement de la goutte en lévitation.

Lorsque j'ai reçu le premier prototype, je me suis organisé pour réaliser des expériences avec celui-ci. D'abord une dizaine de goutte a été déposé avec la cloche, mais aucun n'était concluant, car la distance entre le haut de l'enceinte et l'endroit où doit se trouver la goutte était plus importante que la taille de la pipette me permettant de déposer la goutte. Ensuite tester l'étanchéité en ajoutant des zéolites dans l'enceinte et en y mettant une sonde température et humidité, j'ai pu observer que l'humidité interne diminuait et que l'enceinte est bien imperméable.

J'ai également réalisé 3 séchages avec l'enceinte en verre, qui m'ont permis de tirer les conclusions suivantes : les fenêtres qui devaient permettre à la caméra d'observer la goutte lors du séchage sont 5 millimètres trop haut, le séchage est bien plus rapide grâce aux zéolites, mais aucun grain n'est resté en lévitation avant la fin du séchage.

J'ai partagé mes observations avec Lucie Pitois afin d'améliorer le dispositif expérimental, et des modifications sont en cours sur le prototype 1 pour remédier à ces problèmes identifiés. Sur **figure 12** se trouve la cloche prototype 1.



Figure 12 : Photo du prototype 1 de la cloche

La cloche représente une amélioration du précédent système utilisé pour contrôler l'humidité relative, qui était réalisé en plexiglas (**Figure 13**). Cependant, ce matériau présente des propriétés électrostatiques qui ne permettaient pas à la goutte en lévitation de rester en place. De plus, le volume interne de la cloche en plexiglas était trop grand, ce qui limitait l'impact des zéolites sur l'humidité. Nous avons donc opté pour l'utilisation du verre, qui ne présente pas de propriétés électrostatiques, et avons décidé de contacter une verrière pour remplacer l'enceinte en plexiglas.



Figure 13 : Photo de l'ancienne enceinte en plexiglas et du prototype 1 en verre

A présent, le système de climatisation fonctionne et assure un maintien de la salle d'expérimentation à une température d'environ 19,5°C. Toutefois, l'humidité de la pièce reste élevée malgré l'ajout d'un deuxième déshumidificateur, stabilisant le taux d'humidité autour de 48,7%.

Une étude préliminaire de la température dans la salle a été réalisée avant la climatisation en utilisant un thermo bouton pendant une semaine. Les résultats indiquent une température minimale de 20°C, maximale de 24,5°C et une moyenne de 22,65°C.

Les données recueillies sur l'humidité de la pièce avant la climatisation et avec un seul déshumidificateur ont également été compilées. Les résultats montrent un taux d'humidité maximum de 46,5%, minimum de 34% et une moyenne de 40,9%.

La mise en route de la climatisation a entraîné la diminution de la température de la pièce mais a également augmenté le taux d'humidité de la salle. En raison de ces changements de conditions environnementales, le processus de séchage des gouttes a été ralenti. La moyenne du temps de séchage est passée de 35,8 minutes à plus d'une heure dans les nouvelles conditions. Il est donc nécessaire de mettre en place une cloche fonctionnelle afin de contrôler le taux d'humidité et réduire l'humidité environnante de goutte en lévitation, ce qui permettra d'accélérer le processus de séchage.

En attendant la version 2 de la cloche étanche, les expériences sont réalisées dans ces nouvelles conditions : A une température moyenne de 19,5°C et une humidité de 48,7%.

## Point compétences

---

Le développement de mes compétences s'est concrétisé à travers les activités quotidiennes et ponctuelles réalisées au laboratoire. Au quotidien, j'ai effectué des expériences en toute autonomie, en prenant en charge toutes les étapes du processus expérimental. Chaque semaine, un point de rencontre avec ma responsable nous permettait de discuter des résultats obtenus ainsi que des difficultés rencontrées. Les observations et les commentaires de ma responsable m'ont permis d'enrichir ma compréhension, même si je ne possédais pas toujours les compétences nécessaires pour les évaluer de manière approfondie.

Au cours de mon stage, j'ai également dû faire appel à une aide extérieure. En effet je souhaitais garantir la maîtrise constante de la température et de l'humidité de l'environnement de travail, afin d'assurer la reproductibilité des expériences, et des problèmes techniques en dehors de ma portée ont ralenti le procédé de standardisation.

À ce stade, j'ai fait appel aux responsables du projet ainsi qu'à d'autres membres du laboratoire possédant les compétences techniques nécessaires pour me conseiller. Lorsque j'ai constaté que le système de climatisation ne fonctionnait pas et que des enceintes précédemment utilisées créaient un champ électrostatique perturbant la lévitation de la goutte, Françoise Boissel m'a mis en contact avec Lucie Pitois, une spécialiste en verrerie. J'ai communiqué avec elle les besoins spécifiques pour la conception d'une nouvelle enceinte, notamment l'étanchéité, l'absence de champ électrostatique, la possibilité d'installer une sonde de température et d'humidité, ainsi que l'espace nécessaire pour les zéolites.

Bien que Lucie Pitois soit expérimentée en verrerie de laboratoire, elle était moins familiarisée avec le monde de la recherche, ce qui a nécessité des échanges clairs pour parvenir à un consensus. Comme indiqué dans la section des résultats, le premier prototype n'était pas parfait, mais cela m'a permis de fournir des retours à Lucie Pitois afin qu'elle puisse apporter les modifications nécessaires.

Il est essentiel de souligner que Lucie Pitois, avec qui j'ai collaboré pour la conception de l'enceinte, travaille principalement avec des verreries cassées ou récupérées auprès de laboratoires de la ville. Elle s'engage dans une approche de production unique. Cette collaboration permet de prendre en compte les enjeux de la RSE, en particulier en ce qui concerne le développement durable par le biais de la réutilisation des ressources et de la collaboration avec des partenaires locaux. Cette démarche permet de réduire l'impact environnemental tout en favorisant une utilisation plus efficace et durable des ressources disponibles. En travaillant avec Lucie Pitois, j'ai pu contribuer à cette approche responsable en privilégiant une solution qui intègre les principes de la RSE.

Cet exemple concret illustre le développement de certaines compétences, qui résultent à la fois de mon travail en autonomie et de ma collaboration étroite avec mes collègues. Je n'affirme pas posséder une expertise totale dans tous les domaines, mais je considère avoir fait preuve d'une volonté d'engagement dans mes propositions, mes analyses et la mise en œuvre de solutions. Les compétences auxquelles je fais référence sont rapportées dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : Compétences acquises par la collaboration

Type de compétences	Compétence	Niveau
Aspect scientifiques et techniques	G4.1 – G4.2 – G4.3	B(3) – C(2) – B(3)
Adaptation aux exigences de l'entreprise et de la société	G9	B(3)
Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle	G11.2	A(4)

La justification de l'acquisition de mes compétences passe également par ma manière de travailler au quotidien. Certaines de ces compétences se sont révélées naturellement par ma manière de travailler alors que d'autres ont fait l'objet d'un travail plus particulier.

Lors de ce stage, j'ai eu l'opportunité de développer et renforcer plusieurs compétences. En raison de ma formation en DUT, j'avais déjà acquis une solide connaissance des techniques expérimentales utilisées dans le domaine de la recherche. Je maîtrise les différentes étapes du processus expérimental, telles que la sélection et l'utilisation d'outils et de méthodes appropriés, ainsi que la tenue d'un cahier de laboratoire pour enregistrer mes expériences, mes résultats et les solutions apportées.

Grâce aux informations et aux conseils fournis par mes collègues, j'ai été en mesure de concevoir mes propres expérimentations en autonomie. C'était un exercice nouveau pour moi, mais je m'y suis sentie à l'aise. J'ai apprécié la liberté offerte par le domaine de la recherche et de l'innovation, mais j'ai parfois ressenti le besoin d'aide pour la conception de mes expériences.

Enfin, ce stage m'a permis de développer mes compétences en résolution de problèmes. J'ai été confronté à des situations où les gouttes ne se comportaient pas comme prévu ou dans lesquelles des obstacles techniques se sont présentés. J'ai appris à analyser les problèmes, à trouver des solutions adaptées et à faire preuve d'adaptabilité et de créativité. La résolution de problèmes a été l'une de mes parties préférées du stage, car j'apprécie le sentiment de réussir à surmonter des difficultés par mes propres moyens.

Travailler seule sur ce projet m'a permis de prendre des responsabilités, notamment en prenant des initiatives et en faisant des choix pour faire progresser le projet. C'est notamment le cas du changement de l'éclairage et des méthodes d'analyse d'images. C'est ensuite, pendant des points hebdomadaires, que j'ai pu présenter mon travail et obtenir des retours constructifs.

J'ai eu l'opportunité de développer mes compétences en matière de gestion de projet. J'ai particulièrement travaillé sur les premières étapes de cette démarche, telles que la conception avec l'identification des objectifs, la planification et l'exécution. J'ai pu acquérir une solide compréhension de ces aspects essentiels de la gestion de projet.

Cependant, j'ai également identifié certains points sur lesquels je dois encore progresser. Par exemple, je rencontre des difficultés lors de la mise en place d'indicateurs de suivi et de la clôture du projet. Je suis consciente de leur importance et je suis motivé à les développer dans la suite de mon stage.

Dans l'ensemble, mes missions m'ont permis de développer et renforcer des compétences essentielles dans le domaine de la recherche. Ces compétences me seront bénéfiques pour mes futurs projets et pour mon projet professionnel. Les compétences auxquelles je fais référence sont rapportées dans le **tableau 5**.

*Tableau 5 : Compétences acquises dans mon quotidien*

Type de compétences	Compétence	Niveau
Aspect scientifiques et techniques	G3 – G4.3 – G4.4 – G5	B(3) – B(3) – B(3) – B(3)
Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle	G11.1 – G11.5	C(2) – B(3)

Lors de mon stage, j'ai pu acquérir diverses compétences à travers différentes activités, notamment ma mission au Synchrotron SOLEIL à Paris et la journée sur l'assurance qualité organisée au sein du laboratoire.

La mission au Synchrotron SOLEIL a débuté lors de ma première semaine de stage, ce qui a exigé de moi une grande capacité d'assimilation des nouvelles informations liées à mon sujet. J'ai reçu de l'aide pour trouver les informations les plus pertinentes des documents qui m'ont été fournies. J'ai eu l'opportunité de rencontrer tous les acteurs impliqués dans ce projet, comme Denis Renard, Ludovic Pouchard et ma tutrice Cécile Le Floch-Fouéré, dans un cadre en dehors du laboratoire. Cette mission s'est étendue sur trois jours, ce qui nous a permis de passer du temps avec ces derniers lors des repas, des trajets et des sessions d'expérimentation.

Travailler au Synchrotron implique une vigilance accrue en raison de la complexité et du potentiel danger des équipements expérimentaux présents sur place. De plus, il est particulièrement difficile d'obtenir l'approbation d'un projet dans ce centre de recherche, et les relations établies avec le personnel sont d'une importance capitale si l'on souhaite y revenir. En tant qu'ambassadeurs de notre projet, il était essentiel de promouvoir une image positive de notre groupe.

En plus de notre équipe de quatre personnes, nous étions accompagnés d'un doctorant chinois, Qiang. J'ai eu l'opportunité de discuter avec Qiang, où nous avons respectivement expliqué nos projets. Qiang m'a également expliqué le fonctionnement d'un logiciel d'analyse d'images utilisé au synchrotron.

Ces expériences m'ont permis de développer des compétences telles que l'assimilation rapide de nouvelles informations, la communication avec différents interlocuteurs, ainsi que la compréhension des enjeux de relation au travail, de sécurité et de santé. De plus, j'ai eu l'occasion d'échanger avec des collègues étrangers, ce qui a enrichi ma compréhension du travail en équipe et de la collaboration interculturelle.

Les compétences que j'estime avoir développé lors de cette mission se trouve dans le **tableau 6**.

*Tableau 6 : Compétences acquises par ma mission au Synchrotron*

Type de compétences	Compétence	Niveau
Aspect scientifiques et techniques	G6	C(2)
Adaptation aux exigences de l'entreprise et de la société	G8	B(3) – B(3)
Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle	G11.2 – G11.4 – G13	A(4) – C(2) – B(3)



Enfin, j'ai eu l'occasion de participer à la journée annuelle « Assurance Qualité » de l'UMR STLO. Cette journée concerne la totalité du personnel et a pour but de s'assurer de la qualité des recherches. Cela prend notamment en compte l'étalonnage des appareils utilisés dans les laboratoires, la vérification du fonctionnement des équipements d'analyse, le rangement des lieux, la mise à jour des documents dans les bases de données, etc.

Cette journée m'a permis de prendre en compte les enjeux de l'unité comme le respect de la qualité et des exigences scientifiques. Par exemple, l'entretien des appareils est tout aussi important que d'être rigoureux lors de manipulations en laboratoire.

J'ai également pu rencontrer des collègues d'autres équipes avec qui je ne travaillais pas au quotidien. Nous avons des tâches différentes pour atteindre un objectif commun. Cela m'a permis de développer ma capacité à interagir avec différents interlocuteurs.

Une des tâches qui m'a été confiée était de mettre à jour une base de données de matériels de laboratoire avec les achats réalisés ces dernières années. Pour cela, il fallait compléter les fiches de recensement en allant chercher des renseignements auprès des responsables de ces appareils. Cette tâche m'a permis de rencontrer de nouveaux collègues et de m'investir pleinement dans l'organisation.

J'ai apprécié cette journée « Assurance qualité » puisqu'elle m'a permis de m'intégrer dans la vie professionnelle de l'unité. Le **tableau 6** reprend les compétences développées lors de cette journée.

*Tableau 7 : Compétences mise en avant par les activités de la journée « Assurance Qualité »*

Type de compétences	Compétence	Niveau
Adaptation aux exigences de l'entreprise et de la société	G7	B(3)
Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle	G11.2 – G11.3	A(4) – B(3)

La réalisation d'une analyse SWOT de mon projet professionnel et l'auto-évaluation de mes compétences me permettent de valider le niveau B(3) de la compétence G14.

## *Bilan de mon stage à l'INRAE*

---

Je retiens une expérience très positive de mon stage à l'INRAE, dans lequel j'ai eu l'opportunité de travailler dans un laboratoire public. Ce contexte m'a permis de développer et de renforcer diverses compétences, notamment dans les techniques expérimentales, la résolution de problèmes, la gestion de projets et la prise d'initiatives.

J'ai choisi ce stage en raison de l'aspect recherche et innovation, ainsi que de la finalité des recherches menées, qui est la végétalisation de l'alimentation, en accord avec mes valeurs de respect de l'environnement. Mon projet professionnel initial visait à intégrer une équipe de recherche axée sur l'amélioration des procédés alimentaires, tels que la réduction de la consommation d'eau et d'énergie, dans une perspective de développement durable, en se concentrant sur les secteurs laitier et céréalier.

Depuis, mon projet professionnel a évolué. Je reste toujours motivée à rejoindre une équipe de recherche, mais cette fois-ci dans une petite ou moyenne entreprise spécialisée en biotechnologie ou dans le domaine alimentaire. Un exemple concret serait de travailler pour des entreprises utilisant les algues à des fins variées, telles que la purification de l'eau ou les compléments alimentaires.

Pendant mon stage, j'ai eu l'opportunité de concevoir mes propres expérimentations en autonomie, ce qui m'a permis de faire preuve de créativité et d'adaptabilité. Travailler seule à temps plein sur mon projet m'a également offert une prise de responsabilités plus importante, ce qui était assez rare lors de mes précédents stages.

Ce stage en laboratoire a été une expérience enrichissante qui m'a permis de me familiariser avec le monde de la recherche et de l'innovation. Il a consolidé mon choix de devenir ingénieure en recherche et développement, et les compétences acquises, telles que la gestion de projet et la résolution de problèmes, seront certainement utiles dans mon futur travail.

Cependant, mon stage à l'INRAE n'est pas encore terminé. Il me reste un mois pour poursuivre mes expériences, analyser les résultats et effectuer des expérimentations avec un mélange de protéines laitière et végétale afin de contribuer à la végétalisation des protéines utilisés comme ingrédient fonctionnel en industrie.

## Bibliographie

---

*Le code de la recherche, livre III : Les établissements et organismes de recherche.*

Jimenez-Lopez A. 2007. *Structuration du dépôt de matière à la membrane lors de la microfiltration tangentielle (0,1  $\mu\text{m}$ ) de lait écrémé.* Thèse de doctorat, Agrocampus ouest Rennes (2004-2008).

Gomez F et Saleh K. 2012. *Mise en œuvre des poudre – Séchage par atomisation. Procédé.* Techniques de l'ingénieur.

Sadek C. 2015. *Mécanismes de formation des grains et propriétés des poudres laitières associées : influence de la composition du concentré et des paramètres de séchage.* Thèse de doctorat, Agrocampus ouest, Rennes (2012-2015).

Yu M. 2022. *Séchage de gouttes uniques et monodisperses de mélanges de protéines laitières.* Thèse de doctorat, l'institut Agro (2019)

# Annexes

## Annexe 1 : Organigramme de l'UMR STLO

09/05/2023



**Directeurs adjoints**  
Didier DUPONT, DREX  
Thomas CROGUENNEC, PR1

**Directeur**  
Yves LE LOIR – DR1

**Administratrice**  
Nathalie LE MARRE, IECN

### MICROBIO

GUEDON Eric DR2

BARON Florence MCHC  
BERKOVA Nadia DR2  
DANIEL Nathalie IEHC  
DEUTSCH Stéphanie-Marie CRCN  
EVEN Sergine CRHC  
FALENTIN Héléne IRHC  
GAGNAIRE Valérie DR2  
GAUTIER Michel PREx  
GONNET Fabienne ATP2  
GROSSET Noël TFREx  
JAN Gwenaél DR2  
JAN Sophie PRN  
LEBRET Véronique TREx  
LE LOIR Yves DR1  
MAILLARD Marie-Bernadette AI  
NICOLAS Aurélie IR1  
PARAYRE Sandrine TREx  
PERON Sandrine TRN  
RAULT Lucie AI  
THIERRY Anne CRHC  
VASSAUX Danièle TRN

**Doctorants :**  
BROSSAUD Rodrigue  
DA SILVA Tales  
FREITAS Andria  
KPONOUGLO Koffigan  
LE BRAS Charles  
LECOMTE Maxime  
LEGROS Julie  
PAPAIL Julia

**Post-Doc:**  
GOETZ Coralie  
GUIMARAES LAGUNA Juliana

### BN

DEGLAIRE Amélie MCHC  
LE FEUNTEUN Steven CRCN

CHEVALIER Severine AI  
COCHET Marie-Françoise IECN  
DUPONT Didier DREx  
GUERIN Catherine MCHC  
HENRY Gwenaëlle AI  
JARDIN Julien IECN  
LE GOUAR Yann TRN  
MÉNARD Olivia IEHC  
MORZEL Martine CRHC  
NAU Françoise PREx  
OSSEMOND Jordane IECN  
PEDRONO Frédérique MCHC

**Doctorants :**  
CHAUVET Lucile  
CHARTON Elise  
LE FOLL Rozenn  
FENG Jiajun

**Post-Doc :**  
BERKEL KASIKCI Müzeyyen  
DENG Ruoxuan  
LAVOISIER Anaïs

### Plateformes Labellisées

#### CIRM-BIA

VALENCE-BERTEL Florence IR1  
BAGE Anne-Sophie TRSup  
CHUAT Victoria AI



### PSF

LE FLOCH-FOUERE Cécile PR2  
PEZENNEC Stéphane CRHC

BOISSEL Françoise TFRN  
BEN MESSAOUD Ghazi CRCN  
BOUHALLAB Said DR2  
CROGUENNEC Thomas PR1  
DUBOIS Jean-Jacques TFRN  
DOLIVET Anne TRSup  
FAMELART Marie-Hélène CRHC  
FLOURY Juliane PRN  
GESAN-GUIZIOU Geneviève DR1  
GOUSSE Emeline IECN  
GUYOMARC'H Fanny IR1  
HAMON Pascaline TFRSup  
JEANTET Romain PREx  
LAMBROUIN Fabienne AI  
LANOTTE Luca CRCN  
LECHEVALIER Valérie MCHC  
LECONTE Nadine AI  
LEDUC Arlette TFREx  
LEE Jeehyun MCn  
LOGINOV Maksym CRCN  
ROUSSEAU Florence IECN  
TANGUY Gaëlle IEHC

**Doctorants :**  
GHOLAMIAN Hossein  
GROSTETE Margot  
NEHME Ralph  
PERRIGNON Manon

**Post-Doc :**  
KANDI Sridhar  
SALL Ibra

### Plateforme Lait

GARRIC Gilles IR1  
HAREL-OGER Marielle IECN  
VIVAS ABRIL Anny-Esther IECN

### SAPHIRE

LE MARRE Nathalie IECN

**Gestion INRAE**  
ADAMANDIDIS Laurence TREx  
DESLANDES Céline TREx  
GUILLOUX Danielle TRN

**Documentation-Communication**  
GIBOULOT Anne TREx

**Entretien-Maintenance**  
DOLIVET Florian TRN

**Informatique**  
RIGOLAND Malo CDD

**Laverie-Préparation**  
DEVAULT Sébastien TRN  
MUSSET Jessica TRN

**Gestion Agrocampus Ouest**  
BOURIEL Monique TFRN  
BERTHIER Ghislaine TFRN

### Transversalités

#### Lait-Œuf-Végétal - LOVE

GAGNAIRE Valérie  
GUYOMARC'H Fanny

#### Amélioration des Formules infantiles - FI

DEGLAIRE Amélie  
EVEN Sergine

### Cellule de Partenariat

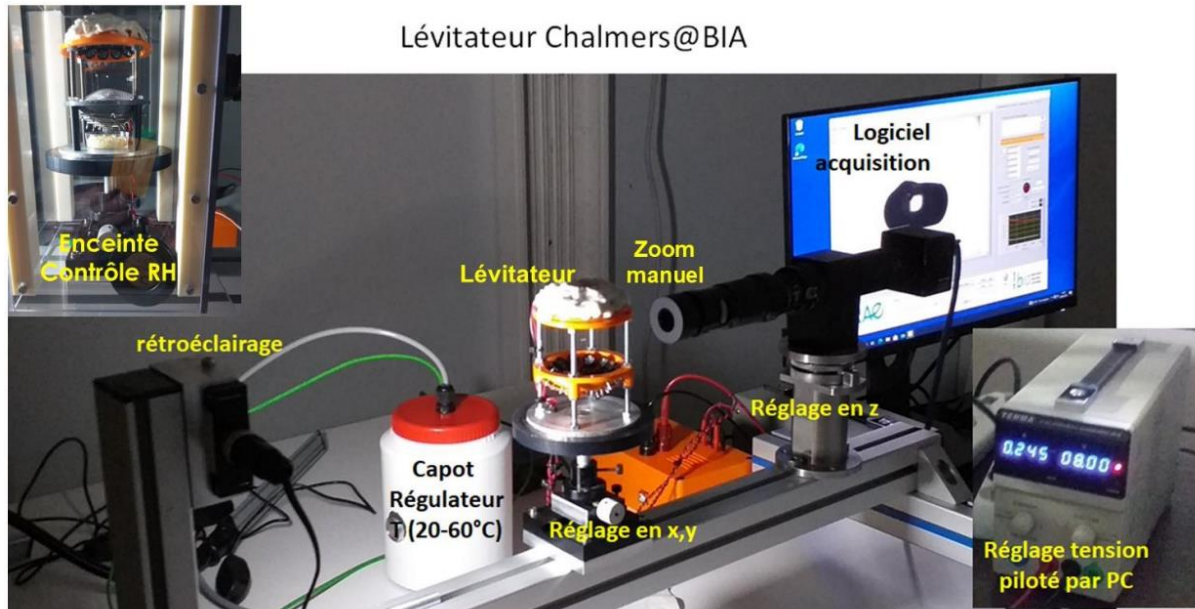
LE LOIR Yves  
DUPONT Didier  
GARRIC Gilles  
HAREL-OGER Marielle  
LE MARRE Nathalie  
MÉNARD Olivia  
VALENCE-BERTEL Florence

### Conseil de Service

Membres élus [2021-2023]  
**AT-TR**  
PERON Sandrine  
VASSAUX Danièle  
**AI**  
CHUAT Victoria  
RAULT Lucie  
**IE-IR**  
FALENTIN Héléne  
VIVAS Anny  
**CR-DR**  
FAMELART Marie-Hélène  
LEE Jeehyun  
MORZEL Martine  
**Industriels**  
BOUJU Sabrina  
LE ROUX Linda

BRIARD-BION Valérie- Formation diplômante  
BOUTROU Rachel- Activités TRANSFORM  
JEANSON Sophie- Activités RH-TRANSFORM  
MEMBRE Jeanne-Marie- Accueil STLO (un an septembre 2023)  
TOILLON Sylvie Autorisation à exercer SDAR  
SCHUCK Pierre (IR)- disponibilité

**Annexe 2** : Photo de l'installation du lévitateur acoustique. Le lévitateur a été développé par Romain Bordes (Université Chalmers, Suède) et le montage optique ainsi que le logiciel d'acquisition d'images par Patrice Papineau (CRAIS, BIA, Nantes).



**Annexe 3** : Tableaux des solutions réalisées dans le cadre de la mission au synchrotron SOLEIL.

Solution-mère

Solution	Concentration	Masse de poudre (g)	Quantité suffisante pour (QSP)
WPI (Whey Protein Isolate)	6%	6,000	100,053
	10%	10,001	100,029
	14%	14,002	100,006
	18%	18,020	100,021
NPC (Native PhosphoCaseinates)	6%	6,003	100,037
	10%	10,021	100,084
	14%	14,002	100,037
	18%	18,000	100,100

Solution-mélange

Concentration (%)	Solution	Ratio	Masse WPI (g)	Masse NPC (g)
6	WPI	100	25	0
	WPI/NPC	80/20	20,005	5,023
		50/50	13,012	13,023
		20/80	5,013	20,000
	NPC	100	0	25
10	WPI	100	25	0
	WPI/NPC	80/20	20,011	5,001
		50/50	12,504	12,507
		20/80	5,010	20,019
	NPC	100	0	25
14	WPI	100	25	0
	WPI/NPC	80/20	20,009	5,005
		50/50	12,510	12,500
		20/80	5,000	20,013
	NPC	100	0	25
18	WPI	100	25	0
	WPI/NPC	80/20	20,006	5,004
		50/50	12,510	12,512
		20/80	5,012	20,001
	NPC	100	0	25

AUTO-ÉVALUATION de

CAMILLE LEFEBVRE

Entreprise :

INRAE-UMR STLO

Maître de stage :

Le Floch-Fouere Cécile

Tuteur école :

Walter Nuninger

Adaptation aux exigences de l'entreprise et de la société		Niveau D(1)	Niveau C(2)	Niveau B(3)	Niveau A(4)
G7	Capacité à prendre en compte les enjeux de l'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique <i>Compétence quitus</i>	Je n'ai pas conscience de ces enjeux.	J'ai conscience de ces enjeux mais ne les prends pas en compte.	Je prends en compte ces enjeux dans ma mission.	Je prends en compte ces enjeux au-delà de ma mission.
G8	Capacité à prendre en compte les enjeux de relation au travail, d'éthique, de sécurité et de santé au travail <i>Compétence quitus</i>	Je n'ai pas conscience de ces enjeux.	J'ai conscience de ces enjeux mais ne les prends pas en compte.	Je prends en compte ces enjeux dans ma mission.	Je prends en compte ces enjeux au-delà de ma mission.
G9	Capacité à prendre en compte les enjeux liés à la RSE <i>Compétence quitus</i>	Je n'ai pas conscience de ces enjeux.	J'ai conscience de ces enjeux mais ne les prends pas en compte.	Je prends en compte ces enjeux dans ma mission.	Je prends en compte ces enjeux au-delà de ma mission.
Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle		Niveau D(1)	Niveau C(2)	Niveau B(3)	Niveau A(4)
G11.1	Capacité à mettre en œuvre une démarche de gestion de projet <i>Compétence quitus</i>	Je ne suis pas capable de mettre en œuvre une démarche de gestion de projet.	Je mets partiellement en œuvre une démarche de gestion de projet.	Avec de l'aide, je mets en œuvre une démarche de gestion de projet.	En autonomie, je mets en œuvre une démarche de gestion de projet.
G11.2	Capacité à communiquer/interagir avec différents interlocuteurs <i>Compétence quitus</i>	Je ne suis pas capable de communiquer/interagir avec différents interlocuteurs de mon service.	Je communique/interagis de manière adaptée dans mon service uniquement.	Je communique/interagis de manière adaptée dans mon entreprise uniquement.	Je communique/interagis de manière adaptée dans mon entreprise et à l'extérieur de l'entreprise.
G11.3	Capacité à s'intégrer dans la vie professionnelle, dans une organisation <i>Compétence quitus</i>	Je ne respecte pas les règles et les codes (horaires, présentation...)	Je me contente de respecter les règles et codes (horaires, présentation...).	Je participe par mon action à la dynamique de mon service.	Je participe par mon action à la diffusion de la culture d'entreprise
G11.4	Capacité à animer, faire évoluer une équipe, engagement et leadership <i>Compétence attendue</i>	Je ne suis pas capable de participer à l'animation d'une équipe	Je suis capable de participer à l'animation d'une équipe.	Je suis capable d'animer une équipe.	Je suis capable d'animer une équipe, de la dynamiser et de la faire progresser.
G11.5	Capacité à prendre des responsabilités, des initiatives, opérer des choix <i>Compétence quitus</i>	Dans le cadre de ma mission, je ne prends jamais aucune initiative, n'opère jamais aucun choix	Rarement: je prends des initiatives, opère des choix.	Régulièrement: je prends des initiatives, opère des choix.	Je prends des initiatives, opère des choix, et cela conduit à une augmentation de mon périmètre de responsabilités.
G13	Capacité à travailler en contexte international <i>Compétence attendue</i>	Je n'adapte pas mon comportement aux différentes cultures rencontrées.	J'adapte partiellement mon comportement aux différentes cultures rencontrées.	J'adapte mon comportement aux différentes cultures rencontrées.	Je suis capable de travailler en contexte international en intégrant des éléments de management interculturel.
G14	Capacité à se connaître, s'auto-évaluer, définir son projet professionnel <i>Compétence quitus</i>	Je n'ai pas de projet professionnel	J'ai un projet professionnel qui n'est pas consolidé par une analyse type SWOT.	J'ai un projet professionnel consolidé par une analyse type SWOT mais pas de plan d'action pour le réaliser.	J'ai un projet professionnel consolidé par une analyse type SWOT et un plan d'action pour le réaliser
Aspects scientifiques et techniques		Niveau D(1)	Niveau C(2)	Niveau B(3)	Niveau A(4)
G3	Capacité à choisir, mettre en œuvre des outils et méthodes <i>Compétence quitus</i>	Même avec de l'aide, je ne suis pas capable de mettre en œuvre des outils et méthodes.	Avec de l'aide, je mets en œuvre des outils et méthodes, sans m'interroger sur leur pertinence.	Je propose des outils et méthodes adaptés. En autonomie: je les mets en œuvre.	Je choisis, adapte et mets en œuvre des méthodes et outils en justifiant mes choix.
G4.1	Capacité à identifier, analyser les besoins et contraintes, et formaliser un cahier des charges <i>Compétence quitus</i>	Je ne suis pas capable d'identifier les besoins et les contraintes.	J'identifie les besoins et les contraintes, mais avec des oublis majeurs.	J'analyse les besoins et les contraintes sans oubli majeur.	Je formalise sans oubli majeur les besoins et contraintes dans un cahier des charges.
G4.2	Capacité à concevoir et formaliser une solution innovante <i>Compétence attendue</i>	Je ne suis pas capable de concevoir une solution innovante.	Avec de l'aide: je conçois une solution innovante, sans formalisation.	Avec de l'aide: je conçois et formalise une solution innovante.	En autonomie: je conçois et formalise une solution innovante.
G4.3	Capacité à mettre en œuvre et évaluer une solution <i>Compétence quitus</i>	Je ne suis pas capable de mettre en œuvre une solution.	Avec de l'aide: je mets en œuvre et évalue une solution.	En autonomie: je mets en œuvre une solution. Avec de l'aide: je l'évalue.	En autonomie: je mets en œuvre une solution et l'évalue.
G4.4	Capacité à présenter, rédiger, et documenter la solution <i>Compétence quitus</i>	Mes documents ou mes présentations contiennent de nombreuses erreurs. Ils ne sont pas exploitables.	Avec de l'aide: je produis des documents et présentations exploitables en interne.	En autonomie: je produis des documents et présentation exploitables en interne.	En autonomie: je produis des documents et présentations exploitables et diffusables.
G5	Capacité à concevoir et mener des expérimentations à des fins de recherche ou d'innovation <i>Compétence attendue</i>	Je ne suis pas capable de mener des expérimentations.	Avec de l'aide: je mène des expérimentations.	Avec de l'aide: je conçois des expérimentations. Je les mène en autonomie.	En autonomie: je conçois et mène des expérimentations.
G6	Capacité à trouver l'information pertinente et à l'exploiter <i>Compétence quitus</i>	Je ne cherche pas d'informations.	Avec de l'aide: je trouve des informations pertinentes et les exploite.	En autonomie: je trouve des informations pertinentes. Avec de l'aide: je les exploite	En autonomie: je trouve des informations pertinentes et les exploite



# CAMILLE LEFEBVRE

## STAGE ASSISTANTE INGÉNIEUR

### PROFIL

Étudiante attentive et appliquée, je suis curieuse et j'aime enrichir mes connaissances et découvrir de nouveaux savoir-faire.

Le respect de l'environnement est une valeur qui me tient à cœur, et, je souhaite dans l'avenir trouver des solutions pour les entreprises afin de réduire leur impact sur l'environnement.

### COMPÉTENCES

- Analyses biochimiques des aliments
- Tests microbiologiques
- Procédés industriels
- Analyses statistiques
- Utilisation des outils de bureautique
- Synthèse d'articles scientifiques
- Rédaction de rapports et analyse de résultats
- Gestion de projet en groupe

### CERTIFICATIONS

- TOEIC (990) | 2023
- Permis B avec véhicule
- Certification Pix (équivalent C2i) | 2020
- Level B2 in Cambridge English Certificate | 2019

### LANGUES

- Français (langue maternelle)
- Anglais (C2)
- Espagnol (B1)

### COORDONNÉES

Téléphone : 06 95 11 28 03  
E-mail : camillelefebvre@free.fr  
Adresse : Villeneuve D'Ascq 59493

### PARCOURS UNIVERSITAIRE

#### Cycle Ingénieur - Génie Biologique et Agroalimentaire

POLYTECH LILLE | SEPTEMBRE 2021 - PRÉSENT

- Matières étudiées :  
→ Biochimie - Microbiologie - Statistiques - Génie des procédés - QSE - Management
- Projets :  
→ Conception de casiers de désinfection à lampe UV  
→ Conception et réalisation de cookies durables

#### DUT - Génie Biologique

UNIVERSITÉ DE LILLE | 2019 - 2021

- Matières étudiées :  
→ Biochimie - Microbiologie - Statistiques - Génie des procédés - Communication
- Projet tutoré : Réalisation d'une bière

#### BAC Scientifique

LYCÉE ARTHUR RIMBAUD | 2016 - 2019

- Mention très bien
- Spécialité Physique-Chimie - Section européenne anglais

### EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES

#### Laborantin STEP

CARGILL HAUBOURDIN | JUIN-AOÛT 2022 (3 MOIS)

- Analyses des effluents de la station de pré-traitement des eaux

#### Stage International DUT

UNIVERSITAT DE VALENCIA - FACULTAT DE FARMÀCIA | AVRIL - JUIN 2021 (3 MOIS)

- Stage dans le département des sciences alimentaires
- Sujet : "IN VITRO STUDY OF MYCOTOXINS' BIOACCESSIBILITY IN BREAD ENRICHED WITH FERMENTED WHEY AND PUMPKIN "

#### Cueilleur saisonnier

ARLEUX | JUILLET 2017 (3 SEMAINES)

- Récolte aux champs de l'ail



# INGÉNIEURE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, ACCÈS BIOTECHNOLOGIES ET ALIMENTS EN PME

