



HAL
open science

Mise en oeuvre d'une méthodologie pilote visant à réduire l'empreinte plastique des laboratoires de recherche INRAE

Eva Truant

► **To cite this version:**

Eva Truant. Mise en oeuvre d'une méthodologie pilote visant à réduire l'empreinte plastique des laboratoires de recherche INRAE. Sciences de l'environnement. 2023. hal-04182538

HAL Id: hal-04182538

<https://hal.inrae.fr/hal-04182538v1>

Submitted on 17 Aug 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.

Faculté de Droit et Science Politique

Rapport de stage

Master 2 Expertise en affaires européennes

« Mise en œuvre d'une méthodologie-pilote visant à réduire l'empreinte plastique des laboratoires de recherche INRAE »

TRUANT Eva

Stage du : 15/02/2023 au 14/08/2023 à Cestas

Sous la direction de :

- **M. Faure Pierre-Henri** : Maître de conférences en sciences économiques à l'Université de Bordeaux
- **Mme Halgand Isabelle** : correspondante formation, animatrice du Comité « Développement durable », chargée de la réglementation en lien avec le bien-être animal – UR « Ecosystèmes Aquatiques et changements globaux » (EABX) – Centre INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux
- **Mme Rosebery Juliette** : directrice adjointe de l'unité EABX et directrice de recherche
- UR « Ecosystèmes Aquatiques et changements globaux » (EABX) - Centre INRAE Nouvelle-Aquitaine

Année universitaire 2022-2023

« Les opinions exprimées dans ce rapport de stage sont propres à leur auteur et n'engagent ni INRAE, ni l'Université de Bordeaux ».

Remerciements

Avant toute chose, il me semble naturel de commencer par remercier mes tutrices de stage : Mme Juliette Rosebery ainsi que Mme Isabelle Halgand. Je les remercie de m'avoir fait confiance pendant ce stage en me donnant la chance de participer à un projet innovant et aussi complexe qu'intéressant.

Ensuite, je tiens à remercier l'ensemble de mes collègues de l'unité EABX qui m'ont rapidement et gentiment intégrée dans leur quotidien pendant ces six mois. Je les remercie également de m'avoir aidée à récolter diverses données primordiales pour le projet REDPLAST. Je suis heureuse d'avoir pu intégrer cette unité chaleureuse et profondément bienveillante pendant ce stage.

J'aimerais ensuite remercier l'Université de Bordeaux ainsi que tous mes professeurs qui m'ont transmis la passion pour le droit, et plus particulièrement pour les questions européennes. Ce rapport de stage clôt mes années d'études à la faculté. Je me dois donc de remercier l'Université et le corps enseignant de m'avoir fait passer les plus belles années de mon parcours scolaire. Je remercie tout particulièrement M. Loïc Grard et Maître Thibault Saint-Martin qui m'ont redonné goût au droit lorsque comme beaucoup, j'avais envie de l'arrêter pendant la pandémie.

Enfin, je remercie mes proches qui m'ont toujours soutenue et encouragée dans mon travail.

Sigles et abréviations (par ordre de citation)

- GES : Gaz à Effet de Serre
- CO₂ : dioxyde de carbone ou gaz carbonique
- OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
- INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et Environnement
- IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
- INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
- UR : Unité de Recherche
- EABX : Ecosystèmes Aquatiques et changements globaux
- ECOVEA : Ecologie des COmmunautés VEgétales Aquatiques
- FREEMA : Fonctionnement et Restauration des Écosystèmes Estuariens et des populations de Migrateurs Amphihalins
- REDPLAST : Réduction Plastique
- ADN : Acide désoxyribonucléique
- IATE : Ingénierie des Agro-polymères et Technologies Emergentes
- BFP : Biologie du Fruit et Pathologies
- SAVE : Santé et Agroécologie du Vignoble
- NuMea : Nutrition, Métabolisme, Aquaculture
- BCA : BiCinchoninic acid Assay
- NACRES : Nomenclature Achats Recherche Enseignement Supérieur
- BGES : Bilan de gaz à effet de serre
- UGAP : Union des Groupements d'Achats Publics
- LBM : Laboratoire de Biogénèse Membranaire

Sommaire

Introduction.....	6
Chapitre I – L'état des lieux de la consommation de plastique des unités INRAE.....	12
Section 1. Le constat des situations initiales.....	12
Section 2. L'opération d'extraction des achats plastiques sur la base de la nomenclature NACRES	18
Chapitre II – La recherche d'alternatives aux plastiques de laboratoires.....	22
Section 1. Les spécificités propres à chaque unité INRAE	23
Section 2. La mise en place de la méthodologie REDPLAST.....	29
Conclusion.....	36

Le contexte de la pollution plastique dans le monde

A l'heure actuelle et contrairement aux idées reçues, le plastique n'est majoritairement pas recyclé, bien que ce dernier ait intégré le quotidien de tous les humains jusque dans les endroits les plus reculés de la Terre. A titre d'exemple, la production du plastique dans le monde a augmenté de manière exponentielle depuis les années 1950 : ainsi, en 1950, ce sont 2.3 millions de tonnes¹ qui ont été produites alors qu'en 2019, cette quantité s'est élevée à 460 millions de tonnes. Parallèlement à cette production en forte croissance, la question de l'élimination des déchets demeure un problème. L'industrie du plastique reste donc un secteur hautement polluant au vu des émissions de gaz à effet de serre (ci-après « GES ») et notamment du dioxyde de carbone ou « gaz carbonique » (ci-après « CO₂ ») émis lors du cycle de vie du plastique. Avant de poursuivre, il est opportun ici de définir ce que sont les « gaz à effet de serre » et de manière plus globale, l'empreinte carbone. La première notion a été définie par le célèbre protocole de Kyoto, adopté le 10 décembre 1997 lors de la troisième Conférence des Parties à la Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques. Ces gaz à effet de serre absorbent la chaleur du soleil qui rayonne sur la surface de la Terre, la piègent dans l'atmosphère et l'empêchent de s'échapper dans l'espace. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs à l'origine du réchauffement climatique. Ces gaz sont au nombre de 6 : le dioxyde de carbone, le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'hexafluorure de soufre (SF₆) et les deux halocarbures² (HFC et PFC)³. De cette définition découle la notion d'« empreinte carbone ». Selon le Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, l'empreinte carbone est un « *indicateur estimant la quantité de gaz à effet de serre émise pour satisfaire la consommation au sens large d'un individu, d'une population, d'un territoire ou d'une activité, en tenant compte des émissions liées aux importations et aux exportations quel que soit le lieu de production de ces biens et services* ». L'empreinte carbone est calculée en grammes, kilogrammes ou en tonnes d'équivalent CO₂ (ces dernières étant traduites par le sigle CO₂e). Ces outils de calcul d'empreinte environnementale

¹ <https://www.nationalgeographic.fr/le-plastique-en-10-chiffres>

² Il s'agit d'une vaste famille de gaz obtenus en remplaçant, dans une molécule d'hydrocarbure (le propane, le butane, ou encore l'octane, que l'on trouve dans l'essence, sont des hydrocarbures), de l'hydrogène par un gaz halogène

³ <https://lempreintecarbone.fr/empreinte-carbone/>

sont très utiles pour quantifier les impacts de l'industrie du plastique sur l'atmosphère et de manière plus globale, sur l'environnement. En ce sens, l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (ci-après « OCDE ») a souligné qu'« *Au long de leur cycle de vie, les plastiques ont une empreinte carbone importante et représentent 3,4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre* »⁴. A titre d'exemple, en 2019, les plastiques sont à l'origine de 1,8 gigatonne de CO₂e dans l'atmosphère. Selon une projection de l'OCDE, les émissions de GES provenant du cycle de vie des plastiques devraient plus que doubler en 2060, atteignant ainsi 4.3 milliards de tonnes. Au vu de ces constats alarmants, il est essentiel que la communauté internationale continue d'adopter des dispositions en ce sens, juridiquement contraignantes.

L'émergence de dispositions juridiques internationales relatives à la pollution plastique

Aujourd'hui et de plus en plus, les questions liées à l'environnement et au vivant reviennent sur le devant de la scène à travers le droit, les médias ou encore les études scientifiques... Au vu des catastrophes naturelles de plus en plus fréquentes⁵, il est essentiel pour la survie de l'espèce humaine et de son environnement, de modifier certains aspects de nos modes de vie. C'est dans cette optique que la Commission européenne a présenté en décembre 2019, le Pacte vert européen ou « *Green deal* » qui inscrit dans le marbre l'ambition européenne « *d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050* »⁶. Dès lors, tous les Etats membres doivent tendre vers une réduction de leurs émissions carbonées et par la même occasion, de la production de plastiques. En France, la loi AGE⁷ a été adoptée afin d'interdire certains plastiques à usage unique (comme les assiettes, les pailles...). Puis le 2 mars 2022, 175 pays ont voté, sous l'égide des Nations Unies à Nairobi, une résolution contre la pollution plastique. Il s'agit là d'une résolution historique qui lance officiellement les négociations sur un futur accord juridiquement contraignant. La première session des négociations pour ce traité international s'est tenue à la fin de cette même année 2022 en Uruguay. Au printemps 2023, la France a accueilli la seconde session des négociations de cette résolution onusienne. Bien avant toutes ces dispositions

⁴<https://www.oecd.org/fr/environnement/plastiques/augmentation-des-rejets-de-plastique-et-emissions-de-gaz.htm>

⁵ Pour la seule première moitié de l'année 2023 : Séisme en Turquie et en Syrie, sécheresse exceptionnelle en Espagne, inondations au Brésil et en Australie, incendies au Chili et au Canada ...

⁶ www.consilium.europa.eu

⁷ Loi n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

juridiques, la science œuvrait déjà quotidiennement pour mettre en exergue les impacts, généralement dévastateurs, de l'activité humaine sur le vivant et l'environnement.

Présentation de l'organisme d'accueil

C'est précisément par le biais de la science qu'INRAE œuvre pour le vivant et l'environnement de manière générale. INRAE est un établissement public à caractère scientifique et technologique français, placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche et du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Selon son décret fondateur, INRAE a pour mission « *de réaliser, d'organiser et de coordonner, à son initiative ou à la demande de l'État, tous travaux de recherche scientifique et technologique dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation, de la forêt, de l'environnement, de l'eau, de la biodiversité, de la bioéconomie, de l'économie circulaire, de la gestion durable des territoires et des risques dans les champs de compétence précités* ». ⁸ Avec ses 18 centres de recherche, INRAE est présent dans toutes les régions de France, ainsi qu'en outre-mer. L'institut vise à produire des connaissances, à favoriser l'innovation, à fournir une expertise et à éclairer les politiques publiques. C'est ainsi qu'INRAE contribue, via ses expertises, à l'élaboration et à la mise en œuvre d'accords internationaux, (tels que les accords de Paris sur le climat ou les objectifs de développement durable des Nations-Unies) et de directives européennes, de plans nationaux, ou de politiques plus locales ⁹. INRAE se positionne aujourd'hui parmi les leaders mondiaux en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal. Il joue donc un rôle de taille sur la scène scientifique internationale.

INRAE est né de la fusion d'IRSTEA et de l'INRA en 2020 et compte aujourd'hui plus de 10 000 agents. M. Philippe Mauguin en est le Président-Directeur Général. L'institut est composé de 14 directions scientifiques (voir annexe 1), toutes structurées autour de disciplines spécifiques (« nutrition humaine et sécurité alimentaire », « santé animale » ou encore « biologie et amélioration des plantes » ...) favorisant ainsi l'interdisciplinarité. Au niveau régional, le centre INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux compte 21 unités et est dirigé par M. Olivier Laviolle depuis le 1^{er} janvier 2020.

⁸ Décret n°2019-1046 du 10 octobre 2019 relatif à l'organisation et au fonctionnement de INRAE

⁹ <https://www.inrae.fr/collaborer/expertise-appui-aux-politiques-publiques>

Ce rapport de stage porte sur un travail réalisé du 15 février au 14 août 2023 au sein de l'unité EABX à Cestas en Gironde. Cette unité de recherche (ci-après « UR ») localisée sur deux sites, Cestas et Saint-Seurin-sur-l'Isle, est composée d'une cinquantaine de chercheurs, ingénieurs et techniciens permanents. Elle accueille également des doctorants (en moyenne 3 soutenances de thèse chaque année), des post-doctorants, des contractuels et des stagiaires. L'unité EABX est dirigée par M. Henrique Cabral (chercheur en écologie et biodiversité aquatique) et Mme Juliette Rosebery (chercheuse en écologie végétale aquatique et qualité des eaux). L'unité est divisée en deux équipes distinctes : ECOVEA (qui mène des recherches en Ecologie des COMMunautés VEgétales Aquatiques et sur l'impact des pressions multiples) et FREEMA (qui s'intéresse au Fonctionnement et à la Restauration des Écosystèmes Estuariens et des populations de Migrateurs Amphihalins). Pour ce stage de six mois, j'ai donc été accueillie par l'UR EABX sur le site de Cestas.

Contexte du stage

En 2020, M. Philippe Mauguin a présenté, lors d'une conférence de presse, les priorités stratégiques de l'institut jusqu'en 2030. Ce plan stratégique est basé sur cinq orientations spécifiques (comme le fait de « répondre aux enjeux environnementaux¹⁰ ») et trois orientations de politique générale, dont l'ambition de faire de la stratégie « *Responsabilité sociétale et Environnementale : une priorité collective* »¹¹. Ainsi, pour être plus cohérent avec ses domaines de recherche, INRAE souhaite aujourd'hui inscrire son organisation et son fonctionnement dans une démarche écoresponsable. A cet effet, INRAE a lancé, le 2 septembre 2022, la deuxième édition de son appel à projet intitulé « *Pépinière de projets RSE* », en vue de financer des actions en 2023. Sur 35 projets déposés, 18 ont été retenus dont le projet REDPLAST dans lequel s'inscrit mon stage.

Ce projet REDPLAST est né d'un postulat : lors d'une expérience scientifique-type, les poubelles des laboratoires finissent régulièrement remplies de plastiques à usage unique. Le plastique est un matériau très intéressant dans le domaine de la recherche scientifique : lorsqu'il est à usage unique il garantit la stérilité des instruments, il est extrêmement malléable et il peut être transparent, enfin il est très bon marché. En outre, le jeter permet un gain de temps aux scientifiques puisqu'ils n'ont plus à le laver. Malheureusement, les plastiques en laboratoire

¹⁰ <https://www.inrae.fr/actualites/lancement-dinrae2030-priorites-strategiques-dinrae-10-prochaines-annees>

¹¹ <https://www.inrae.fr/actualites/lancement-dinrae2030-priorites-strategiques-dinrae-10-prochaines-annees>

sont rarement recyclables, de plus ils peuvent avoir été en contact avec de l'ADN ou divers produits chimiques ce qui nécessite de les traiter comme des déchets dangereux. Ils sont donc jetés après une seule utilisation pour ensuite être, le plus souvent, incinérés ou enfouis. Ainsi, bien que le secteur de la recherche ne soit pas le secteur qui émette le plus de déchets plastiques dans le monde (2% des déchets a priori), chaque scientifique en rejette tout de même jusqu'à 1000 kg¹² par an, ce qui est non négligeable. L'unité EABX de Cestas est une unité de recherche qui est déjà très engagée en faveur de la transition écologique dans le monde de la recherche. Elle a ainsi réalisé son bilan carbone afin de tenter de répondre à l'objectif ambitieux d'INRAE de réduire ses émissions de gaz à effet de serre d'au moins 45% d'ici 2032¹³. Pour y parvenir, des réalisations concrètes doivent donc être entreprises. Parmi celles mises en œuvre, EABX a décidé de s'interroger sur la consommation de plastique de ses laboratoires de recherche, en mettant au point une méthodologie généralisable à l'institut.

Le projet REDPLAST est porté par EABX à laquelle s'est associée l'unité IATE (Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes) du Centre INRAE Occitanie-Montpellier et a obtenu un budget de 17 000 € pour cette année 2023. EABX et IATE ont réussi à fédérer sept autres unités de recherche d'INRAE telle que BFP (Biologie du Fruit et Pathologie) et SAVE (Santé et Agroécologie du Vignoble) implantées à Villenave-d'Ornon et NuMea (Nutrition Métabolisme Aquaculture) basée à Saint-Pée-Sur-Nivelle.

Le projet REDPLAST est destiné à évaluer la faisabilité du remplacement du plastique par des matériaux plus durable tout en prenant en compte les facteurs économiques, environnementaux et humains, le but final étant que cette méthodologie soit applicable de manière autonome au plus grand nombre d'unités INRAE. Pour ce faire, une vidéo didactique de deux minutes a été réalisée par une agence de communication, afin de présenter cette nouvelle démarche au plus grand nombre de scientifiques.

Missions attribuées

Le corps de ce stage s'inscrit dans une réelle mission d'audit interne des unités BFP, SAVE et NuMea. En effet, lors de ces six mois, il a d'abord fallu effectuer un état des lieux de

¹² Urbina, M. A., Watts, A. J., & Reardon, E. E. (2015). Labs should cut plastic waste too. *Nature*, 528(7583), 479-479.

¹³ « En comparant les données du BEGES 2023 avec celles du BEGES 2020 (à périmètre constant), nous constatons une diminution significative de 9,5% de nos émissions de gaz à effet de serre » : message du Président-Directeur Général M.Philippe Mauguin aux unités INRAE le 06/06/2023.

l'ensemble des consommables plastiques achetés par ces unités partenaires sur la période 2019-2022. Celui-ci a permis de calculer la quantité totale et la moyenne annuelle de ces achats, ainsi que les coûts financiers correspondants. Suite à ces résultats, les unités partenaires ont sélectionné les 5 à 10 items dont leurs laboratoires se servent le plus, avant de les peser pour connaître la quantité utilisée sur cette période de quatre ans. Sur la base de ces données, nous avons comparé différents scénarios de manipulations-types en laboratoire. Evidemment, celles-ci varient en fonction du domaine d'activité de l'unité de recherche. Par exemple, BFP effectue de nombreuses extractions d'ADN, tandis que NuMea réalise de nombreux dosages de la protéine BCA¹⁴. Ces unités ont donc retenu comme exemple ces manipulations pour ensuite les optimiser en réduisant un maximum la quantité de plastiques utilisés. En fonction du degré d'optimisation différents scénarios sont apparus : l'utilisation de plastiques à usage unique, la réutilisation du plastique ou encore l'utilisation d'alternatives en verre. De ces données collectées, nous avons calculé les économies financières ainsi que les empreintes carbone et plastique de ces optimisations. Les résultats ont ainsi mis en évidence, ou non, la possibilité et l'intérêt de remplacer le plastique par un matériau plus durable comme le verre.

Toute la complexité du projet REDPLAST réside dans le fait de trouver des alternatives aux consommables plastiques des laboratoires tout en garantissant leur stérilité, leurs avantages tels que décrits précédemment et en respectant la charge de travail des scientifiques et techniciens de laboratoire.

En d'autres termes, le cœur de mon stage au sein de l'unité EABX d'INRAE se traduit en deux temps distincts : tout d'abord la réalisation d'un état des lieux de la consommation de plastiques de trois unités INRAE (I), puis la recherche d'alternatives plus écologiques que les plastiques de laboratoire (II).

¹⁴ Il s'agit d'un dosage colorimétrique des protéines, basé sur l'acide bicinchoninique

Chapitre I – L'état des lieux de la consommation de plastiques des unités INRAE

Comme tout projet destiné à pallier un problème récurrent, il a été opportun lors de la première partie de mon stage, de commencer par réaliser un état des lieux de la consommation plastique des unités partenaires. En ce sens, cette étape s'est avérée indispensable compte tenu des habitudes prises par les laboratoires vis-à-vis du plastique à usage unique. Une fois les situations initiales connues (Section 1), il a fallu extraire les achats plastiques en fonction de la nomenclature NACRES (Section 2) afin de pouvoir les quantifier.

Section 1. Le constat des situations initiales

La première difficulté de ce stage a sans aucun doute été le fait de devoir me familiariser avec un environnement d'étude qui m'était jusqu'alors parfaitement étranger. Ainsi, afin d'opérer un véritable état des lieux des situations initiales, je me suis familiarisée avec la nouvelle thématique et les laboratoires partenaires du projet (Sous-section 1) avant d'étudier les technologies qui sont utilisées dans le cadre de leur travail (Sous-section 2).

Sous-section 1) La familiarisation avec la nouvelle thématique et les laboratoires partenaires du projet

Ma première mission a été de me familiariser avec le domaine scientifique. Ainsi, je me suis d'abord renseignée sur la manière dont cette matière transparente était faite. D'après mes recherches, le plastique est fabriqué la plupart du temps à partir de pétrole. Sinon, celui-ci peut être fabriqué à partir de gaz naturel ou encore de la paroi cellulaire de végétaux. Dans tous les cas, j'ai pu constater que les processus de production étaient très polluants (utilisation de plusieurs substances chimiques, extraction des matières premières, déforestations, etc.). Une fois que j'ai compris comment était fabriquée la matière plastique, j'ai découvert les différentes catégories de plastique existantes : polyéthylène téréphtalate (ou « PET »), polyéthylène haute densité, polystyrène, polypropylène ou encore polychlorure de vinyle (ou « PVC ») etc. Le constat final est que la majorité de ces catégories de plastique (aussi appelés « polymères ») n'est pas recyclée (seuls 10% le sont -le PET-, le reste est incinéré, enfoui, mis en décharge ou

rejeté dans l'environnement¹⁵). Enfin, j'ai appris la différence entre la notion de « recyclage » et celle de « décyclage ». La première – le recyclage - peut être définie comme toute « opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale »¹⁶. Ainsi, lorsque le consommateur va jeter sa bouteille en plastique dans un bac de tri, celle-ci sera recyclée en une nouvelle bouteille en plastique ; il s'agit là d'un recyclage en « boucle fermée ». *A contrario*, le décyclage est un processus visant à transformer le produit jeté en un nouveau dont la fonction sera différente, et qui sera ensuite incinéré, jeté ou enfoui. Ici, il conviendra de reprendre l'exemple de la bouteille en plastique abandonnée par son consommateur : une fois récupérée, ses fibres de polyéthylène seront extraites puis, après une multitude de procédés chimiques et énergivores, elles permettront de créer, par exemple, un pull. Mais, lorsque ce pull sera lavé à la machine par son nouveau propriétaire, les microfibrilles de polyéthylène migreront dans les évacuations d'eaux courantes¹⁷, jusqu'à ce que le pull soit finalement jeté et incinéré...

Ainsi, une fois le nouveau vocabulaire assimilé et les informations relatives aux plastiques comprises, j'ai visité les différents laboratoires de recherche de l'unité EABX à Cestas : d'abord le laboratoire PVA (Pôle Végétation Aquatique) qui est spécialisé dans l'hydrobiologie et l'écotoxicologie, puis le laboratoire Biomarqueurs dédié aux analyses chimiques et omiques. A l'occasion de ces visites, les agents m'ont expliqué le fonctionnement des instruments et technologies à disposition, ainsi que leurs domaines d'étude. Puis, nous avons répertorié les



Figure 1 : Photographie d'une pipette automatique

objets en plastique utilisés dans ces laboratoires. Il en est sorti une liste de matériel couramment utilisé tels que les pointes (aussi appelées cônes) de pipette automatique, les gants en nitrile ou encore les pipettes graduées. Il est nécessaire ici d'expliquer ce que sont les pipettes automatiques puisque leurs cônes constituent la plus grande majorité de la consommation plastique des laboratoires de recherche. Une pipette automatique (voir figure 1) est un système de pipetage de précision qui

¹⁵ Geyer, Jambeck, *DroitSci. Adv.*2017 ; 3:e1700782 19 juillet 2017

¹⁶ <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2197>

¹⁷ Selon l'ANSES : « La preuve de l'ingestion de microplastiques par l'Homme vient de deux études (publiées dans *Annals of internal medicine* et *Science of The Total Environment*) qui ont recherché leur présence dans les selles humaines : des microplastiques ont été détectés systématiquement dans tous les échantillons testés. Par ailleurs, une autre étude a mis en évidence la présence de microplastiques dans le corps humain au niveau du placenta. » (<https://www.anses.fr/fr/content/un-cocktail-de-microplastiques-dans-notre-alimentation>)

actionne des pistons. La modification de la longueur de la colonne d'air à l'intérieur de l'appareil permet d'aspirer ou de chasser des volumes de liquides avec une grande précision. Par l'action de la molette, l'utilisateur peut régler le volume à prélever, à l'aide d'un indicateur à chiffres¹⁸. Ensuite, pour pipeter, l'utilisateur doit enfoncer un cône de pipette en plastique (voir figure 2) de la taille



Figure 2 : Photographie de cônes de pipette automatique



Figure 3 : Photographie d'un Pipetboy

adaptée. Cet instrument est essentiel lorsqu'il s'agit de manipuler des micro-volumes (inférieurs à 1 ml). La pipette graduée représente elle aussi, une consommation non négligeable dans le domaine de la recherche. Il est ici question d'une longue pipette qui peut être en plastique ou en verre, manipulée également à l'aide d'un système électronique, appelé « Pipetboy » (voir figure 3), mais celle-ci est utilisée

dans les cas où il faut manipuler de plus gros volumes (de 1 ml minimum à 50 ml). Les principaux avantages de ces objets en plastique sont leur stérilité lorsqu'ils sont à usage unique ainsi que leur apparente praticité parce qu'ils sont jetables. Nous le verrons par la suite, les cônes de pipette sont les instruments qui sont le plus difficiles à remplacer.

Ensuite, afin de me familiariser avec les équipes partenaires du projet, j'ai commencé par planifier des réunions en distanciel avec chacune d'elles afin de présenter les objectifs de REDPLAST. Les unités m'ont décrit leurs domaines d'étude à l'origine de leur consommation de plastique. L'unité SAVE de Villenave-d'Ornon qui est spécialisée dans l'étude de la vigne dans son environnement et ses différentes maladies, s'articule principalement autour de deux domaines d'activités qui sont la biologie moléculaire et la microbiologie. Il est donc primordial que les instruments de laboratoire soient stériles, ce qui, à première vue, ne va pas dans le sens d'un remplacement du plastique à usage unique par un autre matériau tel que le verre. Quant à l'unité BFP elle aussi basée à Villenave-d'Ornon, elle est spécialisée dans le développement et le métabolisme de la reproduction chez les fruits charnus, l'adaptation des plantes et des arbres au changement climatique et les pathogènes des plantes (virus et phytoplasmes). Parmi le plastique qu'elle utilise, la plus grande part est jetable, en raison de son côté pratique et aussi par habitude. Les déchets ainsi produits sont, en fonction de leur nature, soit incinérés puisque considérés comme déchets chimiques dangereux soit déposés au tout-venant. En revanche,

¹⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Pipette_%C3%A0_piston

certaines de ces éléments en plastique peuvent être remplacés par du verre. C'est pourquoi tenir compte de toutes ces particularités rend le projet REDPLAST d'autant plus complexe. Enfin, l'unité NuMea, est spécialisée dans la nutrition des poissons d'élevage : ses recherches portent sur l'alimentation des poissons, pour favoriser leur développement et éviter la survenue de maladies. Ces études servent à conseiller des filières de fabrication de nourriture pour les poissons d'élevage afin de remplacer les méthodes traditionnelles (aliments constitués de farines de poisson pour nourrir d'autres poissons). Cette unité manipule beaucoup d'ADN et d'ARN et fait de la génétique, ainsi que de la culture cellulaire. Ainsi, étant donné que la stérilité des instruments est essentielle, NuMeA consomme elle aussi une grande quantité de plastique à usage unique.

Le projet REDPLAST fait aussi face à une difficulté supplémentaire puisque les techniciens et scientifiques des laboratoires des unités INRAE émettent beaucoup de « déchets dangereux », au sens de l'article R541-7 du Code de l'environnement et figurant à l'annexe de la décision 2000/532/CE de la Commission du 3 mai 2000. De ce fait, en raison de leur dangerosité, ils sont soumis à des réglementations très spécifiques¹⁹. Par exemple, si un consommable plastique a été en contact avec une substance toxique pour l'environnement et la santé humaine, une société spécialisée récupèrera ces déchets dangereux afin de les traiter. Il faut aussi savoir qu'en raison du principe de la responsabilité élargie du producteur INRAE est aussi responsable de ses déchets : du moment de leur prise en charge par la société de gestion de déchets jusqu'à leur incinération. Par conséquent, la gestion des déchets dangereux est un mécanisme bien calibré et millimétré par les unités INRAE afin d'éviter toute dispersion dans l'environnement. Il est donc risqué de modifier trop profondément la gestion des déchets dangereux. Tout ceci fait du projet REDPLAST un projet qui soulève des enjeux de diverses natures : aussi bien juridiques que scientifiques et techniques. C'est pour ces raisons qu'à ce stade du projet, les techniciens et scientifiques des laboratoires étaient réticents à l'idée de changer leurs modes de travail, d'autant plus que le lavage et la stérilisation des alternatives en verre créent du temps de travail supplémentaire. C'est une réaction tout à fait compréhensible car il faut savoir que les laboratoires de recherche bénéficiaient autrefois de personnels dont le

¹⁹ Conditions spécifiques liées à la gestion des déchets dangereux selon le site du Ministère de la Transition écologie et de la cohésion des territoires : un emballage ou conditionnement et un étiquetage spécifiques conformément aux règles internationales et européennes en vigueur ; une interdiction de mélange avec tout autre substance ou objet, qu'il soit déchet ou non ; un suivi particulier grâce à un bordereau de suivi des déchets dangereux...

travail était consacré, totalement ou partiellement, au lavage des ustensiles ainsi qu'aux stérilisations. Mais cette époque est aujourd'hui révolue puisque ces postes ont, pour la plupart d'entre eux, disparu et les derniers restants ne sont pas voués à être renouvelés après les départs à la retraite de leurs derniers occupants. Le projet REDPLAST ne vise donc pas à contraindre les scientifiques à faire deux métiers en un, c'est pour cela que le temps de travail y est pris en compte.

Ainsi, une fois ces bases acquises, il m'a fallu comprendre et étudier les différentes technologies existantes, leurs fonctionnalités et les méthodes de travail traditionnelles des techniciens et scientifiques de laboratoire avant de proposer des alternatives.

Sous-section 2) La réflexion autour des technologies existantes

Avant d'envisager une optimisation d'un point de vue économique et environnemental des méthodes de travail traditionnelles, il est naturel de les comprendre. J'ai donc commencé par EABX. Les méthodologies de lavage et de décontamination du matériel utilisé représentent un point clé pour le fonctionnement des laboratoires et concernant la faisabilité du remplacement du plastique par du verre. En ce sens, le laboratoire PVA utilise un autoclave et/ou nettoie les instruments à la main avec de l'eau déminéralisée ou de l'éthanol. Un autoclave (voir annexe 2) est un caisson hermétique composé d'un générateur de chaleur et d'une étuve à double paroi. En chauffant à une température avoisinant les 140° C, il « *permet de détruire les germes, bactéries et micro-organismes les plus agressifs sur des objets à usage médical pour éviter tout risque de contamination* »²⁰. Cette méthode de stérilisation à la vapeur est ainsi considérée comme la plus fiable. Les agents doivent préalablement passer leur verrerie sous l'eau chaude ou sous de l'eau déminéralisée afin de retirer d'éventuels résidus. Il est aussi essentiel de préciser que cet autoclave consomme 2,486 kwh par cycle, soit environ la consommation électrique d'un cycle de sèche-linge. En effet, le coût carbone des technologies utilisées doit être pris en compte puisqu'il ne faudrait pas que les alternatives proposées soient plus énergivores.

Le laboratoire Biomarqueurs s'est quant à lui équipé d'une nouvelle étuve à haute température industrielle (voir annexe 3) peu de temps après mon arrivée. Cette nouvelle technologie peut s'apparenter à la fonctionnalité « pyrolyse » d'un four traditionnel : le but

²⁰ www.passeportsante.net

étant de calciner à 450° C pendant 8 heures, les matières organiques des contenants afin d'en garantir la stérilité. L'opération se fait en deux temps. Avant l'étuve haute température, la verrerie est passée dans une étuve à basse température afin de la sécher, car dans le cas contraire, elle exploserait. Cette technique permet un gain de temps de travail puisqu'elle évite la vaisselle à la main nécessaire avant une stérilisation à l'autoclave.

Ensuite, je me suis rendue dans les laboratoires de recherche de BFP, SAVE et NuMea.



Figure 4 : Photographie du dispositif de lavage des cônes de pipette dans l'unité BFP

Pour commencer, BFP procède au nettoyage de ses instruments via un autoclave et/ou de façon manuelle, en utilisant de l'eau ou de l'éthanol. De surcroît, cette unité est dotée d'un prototype de « station de lavage » de cônes de pipette (voir figure 4). Ce dispositif est constitué d'une tête de prélèvement qui contient 96 cônes posés sur une plaque. La tête se déplace et positionne automatiquement les cônes sur les pipettes. Entre chaque changement de plaque, deux rinçages successifs sont effectués : un premier à l'éthanol à 70%, suivi d'un autre, à l'eau. Ce système de nettoyage permet de consommer 25 fois moins de cônes de pipette puisqu'il permet de les réutiliser. Cela entraîne une diminution des achats de cônes et donc une réduction de la consommation de plastique.

peu des boîtes de cônes de pipette faites en carton (voir figure 5). Il s'agit toujours ici de cônes en plastique à usage unique, mais ce dispositif évite la fabrication des contenants traditionnels en plastique (voir annexe 4) qui sont de surcroît plus chers. En effet, si l'on se base sur les prix du site Internet de l'UGAP²¹, 50 boîtes de 960 cônes de pipette de 10 µl en plastique coutent 273.90 € alors que pour la même quantité

Quant à l'unité SAVE, elle utilise depuis



Figure 5 : Photographie d'une boîte de cônes de pipette en carton

²¹ L'UGAP est une centrale d'achats publics français

avec des emballages en carton, cela coûte 230 €. Cette différence de 43.90 € est donc non négligeable au vu de l'utilisation quotidienne des cônes de pipette de 10 µl.

Enfin, la visite à NuMea a permis de constater l'usage de différents types de verrerie. Par exemple, dans le laboratoire de biochimie, les scientifiques manipulent des consommables en verre car ils travaillent avec des liquides de volume important. A titre d'exemple, nous avons observé une consommation de tubes en verre jetables à hémolyse. De plus, le verre est parfois privilégié car le plastique ne résisterait pas au contact de certains solvants utilisés par cette unité. C'est pourquoi il est plus commode, pour des manipulations bien précises, de recourir à des consommables en verre plutôt qu'en plastique.

Cette période m'a été essentielle car elle m'a permis d'intégrer le vocabulaire spécifique au projet, de prendre en main l'outil Excel et de rencontrer les techniciens et scientifiques des laboratoires. Une fois cette phase d'acclimatation terminée, il a fallu calculer la consommation de plastique de chacune de ces unités sur une période donnée.

Section 2. Les opérations de calculs de la consommation plastique des unités partenaires

Bien que les scientifiques de laboratoire aient conscience de leur consommation élevée de plastique à usage unique, il est essentiel de connaître les quantités et moyennes annuelles afin de pouvoir estimer quantitativement les potentielles futures améliorations. Ce constat s'est ainsi traduit par une opération de tri des achats plastiques sur la base de la nomenclature NACRES (Sous-section 1) avant de peser certains items et calculer leur empreinte carbone et plastique (Sous-section 2).

Sous-section 1) L'opération de tri des achats plastiques sur la base de la nomenclature NACRES

Depuis 2014, l'ensemble des établissements publics de l'enseignement supérieur de recherche français, doivent utiliser les codes NACRES (Nomenclature Achats Recherche Enseignement Supérieur). Le rôle principal de cette nomenclature est de connaître le montant des dépenses annuelles d'une structure publique par catégorie de produits et de services. Au-delà d'un certain seuil, cette dernière devra lancer un appel d'offres pour l'ouverture d'un

marché. De plus, la nomenclature NACRES (voir annexe 5) permet aux gestionnaires de retrouver des achats précis plus facilement. Par exemple, afin de comptabiliser le nombre de seringues en plastique achetées, il m'a suffi de rechercher directement le code associé à cet achat, en l'occurrence ici « NB.03 ». Dans le cadre du projet REDPLAST, les agents responsables de la gestion des achats m'ont envoyé la totalité des achats (nature, quantités, montants) effectués au cours de la période 2019-2022. Ceci m'a permis d'extraire les achats de plastiques de laboratoire (seringues, tubes, boîtes de pétri...). Afin de calculer correctement le nombre d'items en plastique achetés, il a fallu, pour chacun, que je multiplie le nombre contenu dans une boîte (Ex : 100 seringues de 0.2 ml par boîte) par le nombre commandé (ainsi : 100 x 2 = 200 pour la somme de 156.46 €). J'ai ensuite regroupé les catégories d'items par type et par volume et calculé leur quantité et leur coût total, ainsi que les moyennes annuelles « coûts » et « quantités » (voir figure 6).

Achats des consommables en plastique BFP (total 2019-2022)					
NACRES	items	quantité totale (4 ans)	quantité moyenne/ année	Prix total (4 ans) HT	Prix moyen / année
NB.17	Bacs	40	10	742,32	185,58
NB.43	Bagues de déversement	550	137,5	180,41	45,1025
NB.11	Barrettes pour tubes bouchons plats	3240	810	319,28	79,82
NB.11	Barrettes pour tubes 0,1 ml	5160	1290	1718,7	429,675
NB.11	Barrettes pour tubes 0,2 ml	37 920	8 980	19 405,47	4851,3675
NB.11	Barrettes pour tubes 11 ml	600	150	77,44	19,36
NB.11	Barrettes microtubes	1120	150	362	90,5
NB.17	Bécher 50 ml	20	5	24,6	6,15
NB.17	Bécher 100 ml	12	3	16,15	4,0375
NB.43	Bécher 150 ml	18	4,5	74,86	18,715
NB.43	Bécher 250 ml	34	8,5	95,89	23,9725
NB.43	Bécher 600 ml	11	2,75	71,99	17,9975
NB.17	Bécher 2L	1	0,25	5,23	1,3075
NB.17	Bécher 3L	3	0,75	31,37	7,8425
NB.51	Bac isolé	3	0,75	297	74,25
NB.12	Boîtes 81 tubes	45	11,25	457,13	114,2825
NB.15	Boîtes bioassay stérile	80	20	496,84	124,21
NB.14	Boîtes de pétri				
NB.14	55 x 1200	3 600	900	191,1	47,775
NB.14	93 x 21	20 520	5130	2812,44	703,11
NB.14	94 x 16	59 040	14760	3801,88	950,47
NB.14	100 x 20	360	90	64,31	16,0775
NB.14	145 x 20	8 060	2015	1677,27	419,3175
NB.14	total boîtes de pétri :	91 580	22895	8547	2136,75
NB.14	Boîtes de culture :				
NB.14	96 x 21	240	60	80,75	20,1875
NB.14	100 x 20	97200	24300	21991,5	5497,875
NB.14	145 x 20	600	150	416,85	104,2125
NB.14	245 x 25 x 500 cm²	80	20	353,6	88,4
NB.14	Boîte de pétri ronde 35 x 10 x 50	46500	11625	6134,55	1533,6375
NB.16	Boîtes de rangement lames	24	6	136,94	34,235
NB.12	Boîtes de stockage pour 81 tubes	80	20	381,76	95,44

Figure 6 : Extrait d'un tableau Excel du bilan de la consommation plastique de l'unité BFP entre 2019-2022

Le résultat de ces calculs m'a étonnée en raison de la quantité considérable d'items en plastique à usage unique, ainsi que le faible coût économique que cela représente. Par exemple, en 4 ans (dont période Covid-19), l'unité BFP a consommé 1 321 080 cônes de pipette de 200 µl en plastique pour « seulement » 12 228 €. De même, l'unité NuMea a acheté 3 641 024 cônes de pipette de 10 µl en 4 ans, pour un coût total de « seulement » 7 787 €. Force est de constater que la faiblesse relative de son prix fait du plastique une matière avantageuse, bien que toutefois très polluante. Ce changement de pratiques est d'autant plus nécessaire que les recherches scientifiques d'INRAE s'inscrivent dans un but éminemment environnemental. C'est donc ainsi

que le projet REDPLAST s'inscrit dans la stratégie RSE d'INRAE. Cet exercice m'a également permis de découvrir le logiciel Excel et ses formules, ainsi que la nomenclature NACRES. Néanmoins, dans le cadre de cet exercice d'extraction des achats plastique, j'ai aussi rencontré quelques difficultés. Par exemple, il y avait parfois des données manquantes tel que le volume de l'item ou encore le nombre d'items par boîte, ce qui empêchait le calcul ou rendait la classification de l'item complexe. Par conséquent, j'ai parfois réalisé un véritable travail d'enquête afin de retrouver la bonne référence du produit. Pour ce faire, j'ai cherché les informations manquantes sur le site Internet de l'UGAP. La seconde difficulté majeure de cet exercice a été de me familiariser plus précisément avec le vocabulaire technique. Par exemple, comprendre qu'un cône de pipette de 10 µl et une pointe P10 étaient les mêmes choses, qu'un « Eppendorf » désignait un microtube et que le microtube se différenciait du tube, du cryotube ou encore du tube conique qui est, lui, également appelé « Falcon », demande un temps d'adaptation. Afin d'observer de manière concrète l'utilisation de ces items et l'application de ce nouveau vocabulaire, j'ai assisté à quelques manipulations scientifiques comme une extraction de biofilms. A partir de l'état des lieux de la consommation d'items en plastique par les unités partenaires, il a été opportun, pour mieux se rendre compte de ces résultats, de convertir ces données en kilogramme et en tonne et de calculer les empreintes carbone et plastique de ces items.

Sous-section 2) La pesée des items en plastique et le calcul de leurs empreintes carbone et plastique

La pesée des items en plastique ainsi que le calcul des empreintes environnementales associées à leur production et à leur élimination permettent avant tout de convertir les résultats obtenus afin de mieux justifier auprès des unités partenaires, l'intérêt de la réduction du plastique. C'est pourquoi nous avons, dans un premier temps, demandé à celles-ci de peser le plus d'items possible, sans tenir compte de la faisabilité de leur remplacement. M. Olivier Fabreguettes de l'unité SAVE a été le premier à nous envoyer ses résultats (voir annexe 6). Il a créé un tableau Excel comprenant :

- la liste des items (colonne A de l'annexe 6),
- la quantité de chaque item accumulée au cours de la période 2021-2022 (colonne B annexe 6),

- le poids en grammes de chacun (colonne C annexe 6),
- les totaux en grammes par la formule =B2*C2 et en kilogrammes par =D2/1000 (colonne D et E annexe 6).

Il faut aussi préciser que les items surlignés en orange (ou en jaune) dans le tableau joint en annexe, sont ceux qui ont été présélectionnés par chaque unité. En sommant les résultats finaux, l'unité SAVE a consommé 1,908 tonne de plastique de 2021 à 2022, soit une moyenne de 954 kg par an. Sachant que les unités consomment souvent les mêmes items, je me suis servi des données de l'unité SAVE pour renseigner le fichier Excel, évitant ainsi aux autres des pesées identiques et donc inutiles. L'unité EABX consomme en moyenne 200 kg d'items en plastique par an. L'unité BFP, quant à elle, a consommé l'équivalent de 7.3 tonnes de plastiques de 2019 à 2022, soit une moyenne annuelle de 1.83 tonne (sans prendre en considération les emballages). Enfin, l'unité NuMea a consommé 6,466 tonnes d'items plastiques au cours de la période 2019-2022, soit une moyenne annuelle d'environ 1.616 tonne. Ces disparités s'expliquent par la différence des domaines d'activité de chaque unité, certains nécessitant plus de plastiques à usage unique que d'autres. De plus, les résultats de l'unité SAVE reposent sur 2 années (2021 et 2022) alors que ceux de BFP et de NuMea sur 4 ans.

Parallèlement à ces premières approches, j'ai pris connaissance des travaux qui ont été réalisés par la stagiaire qui m'a précédée. En effet, celle-ci a développé les outils fondamentaux du projet REDPLAST puisque le corps de son stage s'inscrivait dans la réalisation du bilan de gaz à effet de serre (BGES) de l'unité EABX pour l'année 2019, tout en suggérant des politiques de réduction de ces émissions. Ce BGES comprenait les empreintes carbone des bâtiments (consommations énergétiques), des personnes (trajets domicile-travail et déplacements professionnels), du matériel informatique et des achats. C'est dans le cadre de l'empreinte de ces derniers qu'elle s'est notamment focalisée sur la question de l'empreinte carbone des achats des consommables de laboratoire en plastique à usage unique. Pour la calculer, elle a pris en compte les étapes des cycles de vie, à savoir de l'extraction des matières premières jusqu'à l'incinération du déchet (voir annexe 7). Dans une perspective de remplacement des items en plastique, elle a également calculé l'empreinte carbone de leurs équivalents en verre. Pour ce faire, elle s'est basée sur les facteurs d'émissions estimés à partir de trois banques de données : la base carbone de l'ADEME, l'archive américaine de données environnementales (CEDA) et l'archive américaine de l'agence de protection de l'environnement (EPA). Elle a associé à chaque item un facteur d'émissions. Ainsi, grâce à ces travaux, j'avais en ma possession l'empreinte carbone de chaque type de plastique ainsi que celle de leurs alternatives en verre.

Par exemple, il est mentionné dans le tableau Excel, (voir figure 7), que pour produire 1 tonne de matériel en polypropylène, 2 tonnes de CO₂e sont émises dans l’atmosphère alors que pour 1 tonne de polypropylène recyclé, 0,202 tonne était rejetée.

1- Facteurs d'émissions production type plastique (ADEME, 1997-2018)										
Production plastique		PP		PEBD/PEHD			PET		PS	
	Produit (poids)	Neuf	Recyclé	Neuf BD	Neuf HD	Recyclé	Neuf	Recyclé	Neuf	Recyclé
t	1	2		2,09	1,92	0,202	3,27	0,202	2,83	2,83
kg	1000	2000		2090	1920	202	3270	202	2830	2830
g	1000000	2000000		2090000	1920000	202000	3270000	202000	2830000	2830000

Figure 7 : Tableau Excel du coût carbone des différents plastiques

Le but étant, bien sûr, de trouver des alternatives aux plastiques de laboratoire. De plus, grâce à ces données, nous avons calculé les économies de carbone ainsi réalisées. Tout cela a nécessité plusieurs relectures du rapport de stage de la stagiaire précédente, l’étude approfondie des données comprises dans les fichiers Excel, des recherches sur les bases de données utilisées, etc.

En complément de l’estimation de cette empreinte carbone, et sur une proposition de l’unité IATE, l’empreinte plastique a été estimée comme étant représentée par la masse de plastique du matériel considéré.

A ce stade de mon stage, j’ai assimilé correctement tout le nouveau vocabulaire scientifique, le travail en lien avec le projet REDPLAST qui a été effectué avant moi ; j’ai aussi eu l’opportunité de visiter les laboratoires des unités BFP, SAVE et NuMea, appris à me servir des fonctionnalités de base des logiciels Excel, PowerPoint et Word. Cet état des lieux a permis aux laboratoires de ces unités de se rendre compte, au travers de chiffres concrets, de la quantité de plastique utilisé et jeté, mais aussi du coût financier engendré. La seconde partie du projet consistait à chercher des alternatives au plastique de laboratoire.

Chapitre II – La recherche d’alternatives au plastique de laboratoire des unités INRAE

Il s’est avéré que la consommation de plastique à usage unique était plus conséquente que ne le pensaient les techniciens et scientifiques des laboratoires. Nous avons observé que chaque unité partenaire avait des spécificités propres (Section 1) qui sont liées à leur domaine

d'activité. Ceci rend ainsi l'exercice très stimulant, mais aussi plus complexe puisque nous ne pourrions pas avoir la même marge de manœuvre pour chaque unité. Néanmoins, nous avons réussi à appliquer la méthodologie REDPLAST (Section 2) sur certains items, en trouvant des alternatives plus écoresponsables.

Section 1. Les spécificités propres à chaque unité INRAE

Comme dans tout projet, des difficultés ou même des impossibilités ont été rencontrées. Comment remplacer le plastique à usage unique dans les laboratoires de recherche alors que sa praticité est bien supérieure à celle du verre qu'il est nécessaire de laver et stériliser entre chaque utilisation ? C'est devant ce constat qu'il est apparu pertinent de souligner les blocages (Sous-section 1) au même titre que les pistes d'optimisation envisageables (Sous-section 2).

Sous-section 1) Des consommables plastiques parfois irremplaçables

Avant tout, il est important de rappeler que le projet REDPLAST n'a pas vocation à contraindre les laboratoires de recherche à abandonner complètement l'usage du plastique. Il faut en effet savoir se montrer réaliste puisque certains de ces plastiques s'avèrent être, actuellement, irremplaçables. Ainsi en est-il des gants en nitrile : les laboratoires consomment de très grandes quantités de ce type de gants car ils sont hypoallergéniques, résistants à de nombreuses substances toxiques et enfin, ils permettent une réelle aisance des mouvements. Néanmoins, ces gants ne sont pas recyclables car ils sont le plus souvent en contact avec des substances toxiques ou des matières organiques. Or, cette catégorie d'items représente une part importante de la consommation de plastiques pour les laboratoires. Par exemple, l'unité BFP consomme environ 11 000 paires de gants en nitrile chaque année, représentant un coût financier non négligeable qui avoisine les 10 000 € chaque année. Malheureusement, les remplacer par un matériau biodégradable n'est pas envisageable car ils ne résisteraient pas à certains produits et acides. Ces arguments techniques expliquent ainsi le caractère incontournable de certains consommables plastiques. Il est néanmoins nécessaire de rationaliser leur utilisation afin d'utiliser moins.

Nous avons également été confrontés à des problématiques liées au facteur humain. En effet, si nous envisageons de trouver des alternatives en verre à certains consommables plastiques, cela engendrera nécessairement un temps de travail supplémentaire pour leur lavage et leur stérilisation. Par exemple, lors d'une réunion avec des agents de la Station d'expérimentation de l'unité EABX basée à Saint-Seurin-sur-l'Isle, j'ai appris que son responsable, M. Patrick Chèvre, avait déjà tenté de laver à la main des boîtes de pétri en plastique afin de pouvoir les réutiliser ensuite. Mais l'expérience n'a pas été concluante pour les raisons suivantes :

- le temps de travail supplémentaire ; en effet, cette opération a nécessité 1 h 30 pour laver 20 boîtes de pétri en verre. Or, compte tenu de la disparition du métier des agents de laverie depuis l'apparition du plastique au sein des laboratoires, il est impossible de demander aux techniciens et scientifiques d'assumer cette mission en supplément. Cela dit, même l'impossibilité de remplacement reste une donnée importante à considérer, puisqu'il s'agira, dans la conclusion du projet, de souligner la nécessité de ré-employer des agents de laverie si INRAE souhaite réduire véritablement son empreinte environnementale.

- La spécificité des activités de la Station ; en effet, cette antenne de l'unité EABX est spécialisée dans la recherche sur le fonctionnement et la restauration des populations de poissons migrateurs amphihalins. Ce domaine d'étude nécessite donc de réaliser des prélèvements sur différentes espèces de poissons. C'est le cas des esturgeons du Danube (*Acipenser ruthenus*) - des modèles biologiques impliqués à la place des esturgeons européens (*Acipenser sturio*) puisque ces derniers sont en voie de disparition - sur lesquels on réalise des biopsies. La précision du geste et la valeur de l'échantillon prélevé font que la stérilité du prélèvement doit être garantie. Or, M. Patrick Chèvre reste méfiant quant à la stérilité des boîtes de pétri en verre après chaque lavage manuel.

Enfin, nous avons constaté le caractère irremplaçable d'autres items du fait de leur nature et de leur domaine d'utilisation ; les cônes de pipette de très petit volume en sont les meilleurs exemples. En effet, un cône de pipette de 0.1 µl ou de 10 µl en verre serait cassant ce qui rendrait sa manipulation dangereuse pour les utilisateurs. De plus, leur taille ne faciliterait pas leur lavage et leur stérilisation, impactant ainsi le résultat des études, principalement pour les unités manipulant de l'ADN. Ce constat rend donc le projet relativement frustrant du fait que ce sont précisément ces items qui sont les plus utilisés. Par exemple, Mme Géraldine Gourgues de l'unité BFP a calculé que pour extraire 1 g d'ADN (ce qui représente une quantité

très importante), il est nécessaire de consommer jusqu'à 200 kg de plastique jetable... L'unité NuMea, quant à elle, a utilisé plus de 3 641 000 cônes de pipette de 10 µl sans filtre au cours de la période 2019-2022, soit environ 910 000 sur chacune de ces années. Ce sont donc autant d'items en plastique jetés et qui sont à l'heure actuelle, irremplaçables. Néanmoins, le but du projet REDPLAST, c'est aussi de mettre en exergue auprès des agents des unités, l'importance de leurs consommations de plastique à usage unique. Cette prise de conscience représente déjà un pas en avant vers des pratiques de laboratoire plus écoresponsables. Tout ceci confirme bien que des difficultés, voire des impossibilités, sont à prévoir dans le cadre d'un projet dont l'objectif est complexe. Néanmoins, au fil des recherches et des rendez-vous avec les laboratoires, nous avons tout de même trouvé plusieurs pistes d'optimisation envisageables.

Sous-section 2) De réelles pistes d'optimisation

Le remplacement des items en plastique par des items en verre dans les laboratoires de recherche INRAE peut être facilité par l'acquisition de technologies adéquates. Comme j'ai pu le mentionner plus tôt dans ce rapport, le laboratoire Biomarqueurs de l'unité EABX a reçu, peu de temps après mon arrivée, une étuve haute température industrielle. Chauffant à 450° C, elle permet de nettoyer et stériliser des instruments par un processus de calcination, ce qui ne peut être appliqué qu'à des matières qui résistent à une telle température pendant 8 heures. Grâce à l'utilisation de cette machine, nous pensons par exemple que les cônes de pipettes et les seringues aujourd'hui en plastique pourraient être remplacés par leur équivalent en verre :

- les cônes de pipette de « grands volumes » (2 ml, 5 ml ou plus) en plastique peuvent l'être par une pipette en verre manipulée avec un Pipetboy lequel on insère une pipette en verre ou un plastique de grand volume. L'utilisateur de cet instrument peut définir à l'aide de touches, la quantité exacte prélevée et régler l'instrument en fonction de la viscosité du liquide donné. Cet outil est donc un moyen sûr et efficace qui permet la manipulation de toute sorte de solutions.
- Quant aux seringues, leur version en verre existe également à la condition qu'il s'agisse de contenants de grands volumes.

Toutes ces pistes sont intéressantes, mais il faut trouver un verre capable de résister à l'étuve haute température. Pour débiter, j'ai trouvé un type de verre résistant à 450° C. Ce ne fût pas chose aisée dans la mesure où la plupart des instruments en verre proposés dans le

commerce résistent aux températures d'un autoclave (120-130° C) et non à celles d'une étuve industrielle. J'ai donc pris contact avec des fournisseurs de pipettes et de seringues en verre pour plus de précisions. Il est sorti de ces échanges qu'il existe bel et bien des verres très spécifiques puisque capables de résister à l'étuve. Puis, d'après les recherches de M. Jacky Vedrenne, responsable du laboratoire PVA d'EABX, le verre borosilicate résiste bien à une amplitude de températures allant de -80 à 1 500°C. Ce verre constitue donc un matériau idéal pour le projet, aussi bien pour les pipettes que pour les seringues. M. Jacky Vedrenne a ensuite trouvé les modèles souhaités : des pipettes en verre de 1 ml à 25 ml, ainsi que des seringues de 1 à 5 ml. Toutefois, cette solution s'est avérée partiellement satisfaisante puisque certes, les pipettes et seringues seront stérilisés, mais leur manipulation à la sortie de l'étuve les contaminera de nouveau. Il a donc fallu trouver un contenant constitué d'un matériau résistant à une température de 450°C dans lequel déposer les items. J'ai constaté au fil de mes recherches que l'inox était un matériau idéal pour cela puisqu'il a une température de fusion de 1 400° C. La commande de ces matériels (pipettes et seringues en verre borosilicate, boîte en inox) a été la première illustration concrète de la possibilité de remplacer des items en plastique. Ainsi, le laboratoire PVA, en appliquant ces changements, a réduit par 7 l'empreinte carbone d'une expérience standard.

A l'occasion de nos visites des laboratoires des unités partenaires, nous avons constaté que des items en plastique sont parfois très utilisés mais peu remarqués. C'est le cas des Stéricups au sein des laboratoires de BFP. Lors de nos premières réunions et de mon opération de tri des achats de cette unité, aucune de nous n'y avions prêté attention alors qu'elles sont en plastique et très utilisées. Les Stéricups sont des unités de filtration (voir figure 8) servant à la



Figure 8 : Photographie d'une Stéricup

stérilisation rapide des liquides non autoclavables. Leur utilisation engendre une pollution plastique non négligeable puisque, si sa contenance est de 250 ml, l'item pèse 141 g de plastique et si son volume est de 500 ml, son poids est de 189.8 g. Ainsi, Mme Géraldine Gourgues et Mme Marie-Hélène Andrieu ont trouvé une alternative plus écoresponsable qui consiste à acheter la base fixe de la Stéricup en verre et à y fixer la partie supérieure, qui elle est en plastique et

que l'on jette après chaque utilisation. Pour un modèle de 250 ml, la masse plastique totale de cette alternative qui pesait avant 141 g est maintenant passée à 78,7 g. A l'heure actuelle, les équipes de BFP utilisent ces nouvelles versions de Stéricup et en sont pleinement satisfaites. Cette solution est aussi très intéressante car elle pourrait être appliquée à d'autres unités comme NuMea qui est consommatrice de la version originale de Stéricup.

Lors de notre visite à NuMea, avec Mme Juliette Rosebery et M. Vincent Véron, nous nous sommes rendus compte qu'il y avait dans plusieurs salles des cônes de pipettes en plastique de 5 ml. Il s'agit ici d'un « grand volume », remplaçable. A l'instar de ce qu'a fait EABX, il est possible de les remplacer par des pipettes en verre manipulées par un Pipetboy. Tout comme les Stéricups de BFP, ces objets en plastique potentiellement remplaçables semblent pourtant invisibles au fil du temps, puisqu'ils intègrent le quotidien des agents. Il en est de même pour le plastique au sein de chaque foyer : il est présent mais n'est plus visible car partie intégrante de notre quotidien. C'est donc aussi un des objectifs du projet REDPLAST : ouvrir les yeux sur le plastique qui nous entoure, dans notre milieu personnel et professionnel.

En complément de la visite des équipes partenaires intégrées au projet, Mme Marie-Hélène Andrieu et moi avons visité le laboratoire de Biogénèse membranaire (LBM) de Villenave-d'Ornon qui mène des recherches sur le métabolisme et les fonctions physiologiques des lipides membranaires chez les végétaux et les levures. Le but de cette visite était d'étudier la faisabilité du remplacement des boîtes de pétri en plastique couramment utilisées par leur équivalent en verre. Trois de ses quatre équipes de cette unité utilisent encore ces items dans leur version plastique ; car d'une part, leur lavage nécessite du temps de travail supplémentaire et d'autre part, pour des motifs de sécurité biologique (c'est-à-dire de non-dissémination d'OGM et de pathogènes dans la nature). Celle qui emploie des boîtes en verre le fait pour des expérimentations de bactériologie. Les boîtes utilisées sont de forme classique, à savoir ronde et sont légèrement plus petites que le modèle en plastique²².

²² Alors que les modèles de boîte de pétri en verre mesurent 80 x 15 mm, la version originale en plastique mesure le plus souvent 94 x 16 mm.

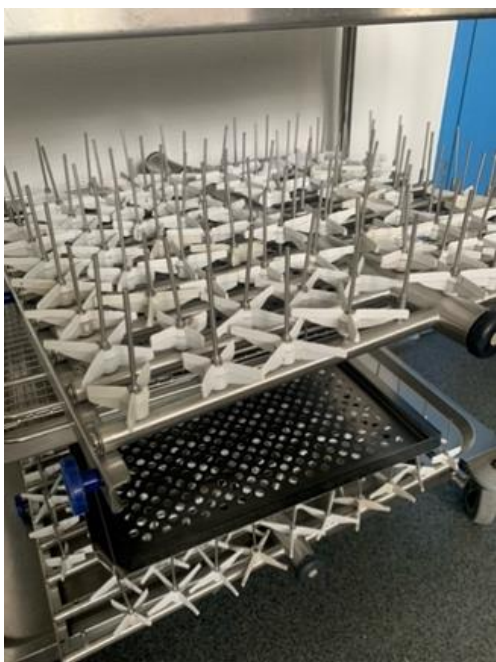


Figure 9 : Photographie de l'intérieur de la machine à laver de laboratoire de l'UMR LBM

Concernant leur méthode de travail, les agents décollent d'abord manuellement la gélose²³ restante de la boîte de pétri. Ils les immergent ensuite dans une solution désinfectante pendant au moins 2 heures avant de les laver à la machine (voir figure 9) puis de les sécher dans une étuve. Tous les items qui passent dans la machine à laver doivent être recouverts par un plateau en fer afin d'éviter qu'ils ne « s'envolent » dans la machine sous la pression de l'eau et ne se cassent. Enfin, les boîtes de pétri sont rangées dans des boîtes en métal destinées à maintenir leur stérilité jusqu'à deux mois. Ce choix du verre permet de ne plus avoir à utiliser d'eau de javel et de diminuer les rejets chlorés dans l'environnement en évitant en même temps le risque d'intoxication pour les agents. Il est évident que le fait de manipuler des boîtes de pétri en verre occasionne plus de travail et d'organisation pour les agents du laboratoire. Néanmoins, l'équipe est apparemment satisfaite de cette nouvelle façon de travailler compte tenu des avantages environnementaux qu'elle génère. De plus, l'équipe de LBM ne s'est servie, depuis 2020, que d'environ 180 boîtes de pétri en verre. Ces méthodes de travail sont donc très intéressantes pour le projet REDPLAST puisqu'elles permettent une économie de plastique. Aussi, nous nous sommes rendues compte, qu'en plus des boîtes de pétri, cette équipe utilise une grande quantité d'autres consommables en verre de volumes très variés : aussi bien des éprouvettes, des béchers que des flacons. Par exemple, cette unité se sert aussi beaucoup de tubes en verre avec, selon le type de culture présent dans le tube, soit un bouchon en plastique, soit un bouchon en téflon. Ces tubes en verre sont décontaminés de la même manière que les boîtes de pétri en verre. Cette alternative en verre a permis à cette unité de ne plus commander de tubes en plastique de 13 ml depuis 2021 puisqu'elle écoule encore le stock des années précédentes tout en alternant avec les nouvelles versions en verre. Le LBM tente donc de substituer le plastique par du verre chaque fois que l'expérimentation le permet.

²³ La gélose est un milieu biologique destiné à cultiver des bactéries, afin soit d'en favoriser le développement, soit de le diminuer. Il existe plusieurs types de géloses, reconnaissables à leur couleur et à leur action. La gélose est une substance gélifiée dont les bactéries se nourrissent.

Enfin, toujours lors de la visite au LBM, Mme Terezinha Robbe a indiqué que l'unité lave aussi leurs cuvettes d'électroporation (voir figure 10). Ces cuvettes en plastique et en métal permettent l'application d'un champ électrique sur un petit échantillon de suspension microbienne. Or, ces petits objets régulièrement utilisés sont jetables et très coûteux (110 € pour 50 cuvettes). Ce sont pour ces raisons que l'équipe de cette UMR a décidé de les laver à la main afin de pouvoir les réutiliser plusieurs fois. Grâce à cette nouvelle façon de faire, leur consommation de cuvettes a été divisée par 3.



Figure 10 : Photographie d'un cube d'électroporation

Ainsi, j'ai observé que divers facteurs (humains, techniques, scientifiques ou encore économiques) justifient parfois l'impossibilité du remplacement des items en plastique par leur équivalent en verre. Toutefois, au fil des dialogues et des visites en laboratoire, nous avons trouvé différentes pistes envisageables pour tendre vers des pratiques plus écoresponsables. Réaliste, le projet REDPLAST ne vise aucunement l'abandon total du plastique au sein des laboratoires. Néanmoins, la prise de conscience de l'omniprésence de la matière plastique dans le domaine des sciences constitue déjà une avancée, car elle est le point de départ des actions qui seront entreprises. Grâce à elle, nous nous sommes par exemple rendu compte que des consommables plastiques de gros volumes pouvaient dans certains cas être remplacés. Puis, afin de mettre en œuvre la méthodologie REDPLAST, nous avons demandé aux unités partenaires de sélectionner une « expérience type » et de tenter de l'optimiser un maximum afin de pouvoir calculer de manière concrète les économies financières et la réduction des empreintes environnementales associées.

Section 2. Des illustrations de la mise en œuvre de la méthodologie REDPLAST

Une fois ces divers constats établis, la dernière étape du projet REDPLAST a été de progresser dans cette perspective d'optimisation. Nous nous sommes alors focalisés sur des expériences types qui ont été optimisées par l'usage d'items en verre, lorsque cela était possible. J'ai donc calculé le bilan des alternatives envisagées par les unités partenaires (Sous-section 1) avant que nous puissions diffuser la méthodologie REDPLAST aux autres unités (Sous-section 2).

Sous-section 1) Les scénarios d'optimisation d'une expérience type de laboratoire

Afin de trouver des alternatives aux consommables plastiques, Mme Juliette Rosebery et moi-même avons demandé aux unités partenaires du projet REDPLAST de sélectionner une manipulation « type », c'est-à-dire une expérience qu'elles ont l'habitude de réaliser. Une fois celle-ci ciblée, il s'agissait d'envisager trois scénarios distincts :

1. le scénario de l'expérience inchangée : utilisation des consommables habituels
2. le scénario de l'expérience optimisée une première fois : ici, les agents vont réutiliser les consommables en plastique dans la mesure du possible, et autant de fois que possible
3. le scénario de l'expérience optimisée une seconde fois : ici, le but étant de faire disparaître un maximum le plastique de l'expérience scientifique ciblée.

Nous avons commencé par l'unité BFP. Mme Géraldine Gourgues et Mme Marie-Hélène Andrieu ont choisi de se focaliser sur l'optimisation du kit midiprep²⁴. Ainsi, Géraldine Gourgues nous a envoyé un fichier Excel avec ces trois scénarios apparaissant (voir figure 11).





		Poids plastique jetable pour 1 ech		Poids plastique jetable pour 1 ech		Poids plastique jetable pour 1 ech
Kit Midiprep Machery Nagel						
	Pas optimisé		Optimisation 1		Optimisation 2	
Culture 100ml	Flacon verre stérile 		Flacon verre stérile		Flacon verre stérile	
	1 pipette 25 ml	14,9	Eprouvette en verre stérile		Eprouvette en verre stérile	
	2 cônes 200µl	1,08	2 cônes 200µl	1,08	2 cônes 200µl	1,08
Récupération cellules	Pots plastiques à centrifuger réutilisables 	1,08	Pots plastiques à centrifuger réutilisables	1,08	Pots plastiques à centrifuger réutilisables	
	1 cône 1250µl		1 cône 1250µl		1 cône 1250µl	1,08
Resuspension des cellules	1 pipette plastique 10ml par échantillon	8,9	1 pipette plastique 10ml par échantillon	8,9	1 pipette verre 10ml par échantillon	Attention : décontamination nécessaire
	1 falcon 50ml par échantillon	12,7	1 tube plastique lavable par échantillon 		1 tube plastique lavable par échantillon	
Lyse cellulaire	1 pipette plastique 10 ml (par manip)	8,9	1 pipette plastique 10 ml (utilisable pour plusieurs manip)	8,9	1 pipette verre 10ml par manip ou pour plu manip	
	1 pipette plastique 10 ml (par manip)	8,9	1 pipette plastique 10 ml (utilisable pour plusieurs manip)		1 pipette verre 10ml par manip ou pour plu manip	
Neutralisation	1 pipette plastique 10 ml (par manip)	8,9	1 pipette plastique 10 ml (utilisable pour plusieurs manip)		1 pipette verre 10ml par manip ou pour plu manip	
Equilibration colonne	1 pipette plastique 10 ml (par manip)	8,9	1 pipette plastique 10 ml (utilisable pour plusieurs manip)		1 pipette verre 10ml par manip ou pour plu manip	
Fixation ADN	1 colonne plastique par échantillon 	11,5	1 colonne plastique par échantillon	11,5	1 colonne plastique par échantillon	11,5
	1 pipette plastique 10 ml (par manip)	8,9	1 pipette plastique 10 ml (utilisable pour plusieurs manip)		1 pipette verre 10ml par manip ou pour plu manip	
Elution	1 pipette plastique 5 ml (par manip)	6,6	1 pipette plastique 5 ml (utilisable pour plusieurs manip)		1 pipette verre 5 ml par manip ou pour plu manip	
	1 tube 13 ml par échantillon	6,2	1 tube 13 ml par échantillon	6,2	1 tube 13 ml par échantillon	6,2
Lavage Ethanol 70%	1 pipette plastique 5 ml (par manip)	6,6	1 pipette plastique 5 ml utilisable pour plusieurs manip		1 pipette verre 5 ml par manip ou pour plu manip	
Resuspension ADN	1 epp à vis par échantillon 1,5 ml	1,3	1 epp à vis par échantillon 1,5 ml	1,3	1 epp à vis par échantillon 1,5 ml	1,3
	1 cône 200µl	0,54	1 cône 200µl	0,54	1 cône 200µl	0,54
Total en g		94,3		39,5		21,7

Figure 11 : Extrait du tableau de Mme Géraldine Gourgues (BFP) concernant les scénarios d'optimisation du Kit Midiprep

²⁴ Le « Kit Midiprep » permet l'isolement d'une quantité moyenne d'ADN plasmidique à partir d'une culture bactérienne.

On peut voir ici, toutes les étapes de l'expérimentation, les items utilisés dans les trois scénarios ainsi que les poids des items en plastique. Une première étude de ce fichier met en évidence le succès des agents de l'unité BFP qui ont bien réussi à optimiser le plus possible l'expérience « type » puisque la masse plastique totale est passée de 94,3 g à 21,7 g, soit une réduction de l'empreinte plastique d'un facteur 4. Cet exercice a été une première réussite : parfois en se questionnant et surtout si le domaine d'étude le permet, il y a des cas où le plastique à usage unique peut être remplacé. Le nombre d'items a lui aussi été réduit : il est passé de 16 à 7 en l'optimisant le plus possible. Cela a permis de réduire l'empreinte carbone d'un facteur de 2,7. Il faut aussi savoir qu'au fil de nos visites dans les laboratoires partenaires, les arguments écologiques ne suffisaient évidemment pas à eux seuls. Ceci est naturel puisque le remplacement du plastique par du verre nécessite une nouvelle organisation bien calibrée, de nouvelles habitudes et un temps de travail qui n'est pas négligeable. C'est pourquoi je me suis demandée quel autre argument pouvait être avancé pour servir l'objectif initial du projet. Comme dans tout domaine, l'aspect économique dans le secteur de la recherche est essentiel, d'autant plus que les fonds alloués à celui-ci sont souvent jugés insuffisants. C'est pourquoi, j'ai calculé le coût financier de la manipulation non optimisée ainsi que celui de celle optimisée dans le but de savoir si le plastique à usage unique est réellement moins cher, que le verre sur le long terme. Nos partenaires de l'unité BFP m'ont à cet effet, envoyé les références des prix de tous les items utilisés dans les scénarios. De là, je me suis uniquement focalisée sur deux scénarios : la manipulation inchangée (en orange) et la manipulation la plus optimisée (en vert) (voir figure 12). Le but de mon exercice a été de calculer le prix unitaire de chaque item

Manip pas optimisée													
items utilisés	prix achat TTC	prix 1ère manip	prix 2ème manip	prix 3ème manip	prix 4ème manip	prix 5ème manip	prix 6ème manip	prix 7ème manip	prix 8ème manip	prix 9ème manip	prix 10ème manip	prix 11ème manip	prix 12ème manip
flacon verre erlenmeyer 125 ml	7,5075	7,5075	3,75375	2,5025	1,876875	1,5015	1,25125	1,0725	0,9384375	0,834166667	0,75075	0,6825	0,625625
3 cones 200µl	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875
1 cone 1250	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667
2 pipettes plastique 5 ml	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048	0,192048
5 pipettes plastique 10ml	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335	0,51023335
1 pipette de 25 ml	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192
1 epp à vis par échantillon 1,5 ml	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
1 tube 13 ml	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336
1 Falcon 50ml	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078
Total (euros) :	8,644841767	8,644841767	4,891091767	3,639841767	3,014216767	2,63884177	2,388591767	2,209841767	2,075779267	1,971508433	1,888091767	1,819841767	1,76296677
Manip optimisée													
items utilisés	prix achat	prix 1ère manip	prix 2ème manip	prix 3ème manip	prix 4ème manip	prix 5ème manip	prix 6ème manip	prix 7ème manip	prix 8ème manip	prix 9ème manip	prix 10ème manip	prix 11ème manip	prix 12ème manip
flacon verre erlenmeyer 125 ml	7,5075	7,5075	3,75375	2,5025	1,876875	1,5015	1,25125	1,0725	0,9384375	0,834166667	0,75075	0,6825	0,625625
eprouvette en verre stérile	6,255	6,255	3,1275	2,085	1,56375	1,251	1,0425	0,893571429	0,781875	0,695	0,6255	0,568636364	0,52125
5 pipettes en verre 10ml	12,575	12,575	6,2875	4,191666667	3,14375	2,515	2,095833333	1,796428571	1,571875	1,397222222	1,2575	1,143181818	1,047916667
3 cones 200µl	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875	0,06996875
1 cone 1250µl	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667	0,027791667
1 epp à vis par échantillon 1,5 ml	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
1 tube 13 ml	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336	0,0336
1 tube plastique lavable (100 fois)	3,364	3,364	1,682	1,121333333	0,841	0,6728	0,560666667	0,480571429	0,4205	0,373777778	0,3364	0,305818182	0,280333333
1 pipette en verre 5 ml	2,515	2,515	1,2575	0,838333333	0,62875	0,503	0,419166667	0,359285714	0,314375	0,279444444	0,2515	0,228636364	0,209583333
Total (euros) :	32,35176042	32,35176042	16,24351042	10,87409375	8,189385417	6,57856042	5,504677083	4,73761756	4,162322917	3,714871528	3,356910417	3,064033144	2,81996875

Figure 12 : Tableau Excel des coûts (en euros) de la manipulation optimisée ou non optimisée

A ce stade, les items en plastique coutent 1,43 € contre 1,42 € pour les items en verre. Puis, l'écart continue de se creuser. Au bout de la 32^{ème} utilisation, les items en plastique coûtent 1,37 € contre 0,93 € pour les items en verre. Ainsi, bien que les différences ne soient pas très importantes, ces calculs prouvent que l'alternative de la réutilisation d'items en verre est ici malgré tout, plus économique.

J'ai aussi constaté que plus une unité parvenait, de par son domaine d'étude, à optimiser une expérience « type », plus la rentabilité du verre sera précoce comparée à celle du plastique. C'est ce qu'à illustré l'unité NuMea qui a sélectionné à son tour une expérience très régulière : le dosage de la protéine BCA. Pour cette manipulation, cette unité est parvenue à remplacer deux items en plastique par du verre et à réutiliser un item en plastique une centaine de fois avant de le jeter. En revanche, malgré cette optimisation et du fait que j'ai procédé de la même manière que pour l'unité BFP, le remplacement par du verre s'est révélé rentable après bien plus d'utilisations : même au bout de la 65^{ème} réutilisation des items en verre, le plastique reste ici moins cher que le verre. Il semblerait que cette différence entre les unités BFP et NuMea s'explique par le fait que la manipulation optimisée par NuMea va « moins loin » dans la substitution du plastique par le verre. En effet l'ampleur de l'optimisation envisageable est très dépendante du domaine d'étude des unités scientifiques. Ainsi, ce qui est parfois possible pour une unité l'est moins pour une autre. Il est néanmoins important de souligner qu'en optimisant malgré tout sa manipulation, l'unité NuMea est passée d'un total de 38,14 g de plastique à 21,42 g. Cette économie est non négligeable, surtout pour une expérience qui est quasi journalière.

En plus de trouver des alternatives aux plastiques à usage unique dans les laboratoires, REDPLAST est un projet qui vise aussi à établir un dialogue entre les unités afin qu'elles puissent se partager entre elles leurs nouvelles pratiques.

Sous-section 2) La diffusion de la méthodologie REDPLAST aux unités partenaires

Le projet REDPLAST a évolué au fil des rencontres avec les chercheurs, des visites, des échanges de courriels et de réunions. Nous avons obtenu différents résultats, certains plus concluants que d'autres. Toutefois, comme j'ai pu le souligner précédemment, chacun de ces résultats compte : des possibilités comme des impossibilités. Partant de ces postulats, une des missions qui m'ont été attribuées au cours de mon stage à EABX a été de diffuser ces données

aux unités participant de près ou de loin au projet REDPLAST. Ce projet est composé de deux cercles distincts. Pour ce qui concerne EABX, son premier cercle est formé des unités partenaires citées précédemment (BFP, NuMea et SAVE). J'ai été en contact presque permanent avec celles-ci afin de réaliser l'état des lieux de leur consommation plastique, calculer les différents scénarios d'optimisation, etc. Le second cercle comprend des unités ainsi que des universités françaises qui suivent la démarche sans y participer directement. C'est dans ce contexte que j'ai présenté le projet à l'université de la Sorbonne qui est, elle aussi, dans une démarche de réduction de son empreinte plastique. Les présentations du projet auprès des unités du premier et du second cercle de REDPLAST m'ont ainsi permis de continuer à m'exercer à l'oral. J'ai aussi réussi à intégrer le laboratoire LBM dans le second cercles du projet. La participation de cette unité au projet REDPLAST était un atout car elle est déjà très avancée en matière d'alternatives écoresponsables.

L'intérêt de REDPLAST est aussi la diffusion des méthodes de réduction du plastique des unités entre elles. Par exemple, comme évoqué précédemment, l'unité BFP possède une station de lavage de cônes de pipette ce qui lui permet d'en consommer 25 fois moins. Ce dispositif permet donc une économie financière et de plastique. Ainsi, conscientes de l'intérêt de ce dispositif de lavage, nous en avons parlé aux autres unités qui semblent être intéressées. De plus, établir un dialogue par l'organisation de réunions est intéressant car les unités ont souvent des consommables en plastique en commun. Par exemple, au même titre que BFP, l'unité NuMea utilise aussi des Stéricups. Ainsi, l'alternative qui nécessite moitié moins de plastique peut inspirer les autres unités du projet. Enfin, nous avons parlé des boîtes en carton de cônes de pipette utilisées par l'unité SAVE à BFP qui s'est montré très intéressée par cette nouvelle alternative. Ces nouvelles pratiques adoptées par chacune de ces unités ont le mérite d'être mises en commun, d'autant plus que les unités SAVE, BFP et LBM sont sur le même site INRAE de Villenave-d'Ornon.

Avant la fin de mon stage, j'ai également eu l'opportunité de m'entraîner à présenter mon rapport de stage en condition réelle d'examen de soutenance, devant des agents de l'unité EABX et des unités des deux cercles REDPLAST. Cet exercice a été l'occasion de faire un point et de présenter les avancées du projet aux autres unités intéressées. Lors de cette réunion, nous avons abordé le futur du projet. Les personnes impliquées dans cette démarche ont conclu qu'il faudra dans un futur proche créer une sorte de forum ou de groupe de discussion afin que les unités puissent échanger, et envoyer leurs références de produits, astuces, conseils...

Enfin, afin de diffuser la méthodologie REDPLAST au plus grand nombre, une vidéo didactique en motion design réalisée par une agence de communication sera diffusée à la fin de l'année 2023.

Conclusion

Ce stage de fin d'étude au sein de l'unité EABX d'INRAE m'a apporté divers enseignements, tant sur le plan professionnel que personnel. Sur le plan professionnel, cette expérience m'a permis d'évoluer dans un nouvel environnement que forment la science et la recherche. J'ai acquis de multiples connaissances sur les domaines de recherche d'INRAE, sur les technologies présentes dans les laboratoires et sur le plastique de manière générale. Dans le cadre de la réalisation de mes missions, j'ai aussi appris à me servir du logiciel Excel et à me perfectionner à PowerPoint, des connaissances informatiques qui sont de réels atouts dans le monde du travail. J'ai également pu devenir plus à l'aise avec les chiffres et les calculs en général. En outre, les diverses présentations du projet REDPLAST que j'ai pu faire ont perfectionné ma maîtrise de prise en parole en public. De surcroît, à l'occasion de ma soutenance d'entraînement du 25 juillet 2023 évoquée dans le paragraphe précédent, j'ai élargi la thématique au droit de l'UE en intervenant durant 15 minutes sur le thème de « L'émergence et l'encadrement actuel de la réglementation européenne des déchets plastiques ». Cet exercice m'a beaucoup plu car il m'a donné l'occasion de faire découvrir, à mon tour, mes études à mes collègues tout en partageant mon goût pour les questions européennes. A tous ces bénéfices, s'est ajoutée la nécessité de savoir argumenter. En effet, il a fallu que je suscite l'adhésion des membres des unités partenaires sans pour autant les contraindre dans leurs méthodes initiales de travail ; je fais référence ici à ce qui a été précédemment souligné, à savoir que, le remplacement du plastique à usage unique ne doit pas se faire au prix d'un travail supplémentaire pour les personnels des laboratoires.

Le projet REDPLAST, se poursuivra au-delà de mon stage. En effet, au vu de l'intérêt grandissant qu'il a suscité, l'unité EABX va discuter avec la direction nationale RSE d'INRAE pour aborder le futur de ce projet. Aujourd'hui, il semblerait qu'il y a un réel souhait de la part des deux parties, pour le poursuivre et l'étendre à l'échelle de l'Institut.

Sur le plan personnel, je suis fière d'avoir su évoluer dans un domaine inconnu, ce qui traduit ma capacité d'adaptation, qui est aussi un argument à mettre en avant dans le monde du travail. De plus, j'ai eu la chance d'avoir pu bénéficier de deux formations : une session de 48 h pour obtenir la qualité de Sauveteur Secouriste au Travail, et une seconde dédiée à la « communication non-violente ». Par ailleurs, cette expérience m'a confortée dans l'idée de vouloir allier plus tard la protection de l'environnement, le droit européen et l'économie. A présent, mon but à long terme est d'ouvrir mon propre cabinet d'audit spécialisé dans

l'environnement en vue d'accompagner les entreprises dans leur transition environnementale. Mon intérêt pour l'environnement est présent, je suis aujourd'hui forte d'un savoir juridique, mais j'ai besoin pour mettre en œuvre mon projet futur, de connaissances financières plus approfondies. C'est pourquoi, j'ai postulé et ai obtenu un CDD de 3 ans au sein de l'Agence Nationale Erasmus+ à Bordeaux en tant que « Chargée d'audit et d'évaluation ». Ce premier pas dans le monde du travail va me permettre de pouvoir affiner mon projet futur.

Ce sont pour ces raisons que je ne regrette en rien mon choix de stage de fin d'étude, pourtant au prime abord peu habituel pour une juriste de formation : chaque expérience est bénéfique pour le futur.

Bibliographie

Articles de doctrine

- Urbina, M. A., Watts, A. J., & Reardon, E. E. (2015). Labs should cut plastic waste too. *Nature*, 528(7583), 479-479.

Notes de jurisprudence

- Loi n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire
- Décret n°2019-1046 du 10 octobre 2019 relatif à l'organisation et au fonctionnement de INRAE

Sites Internet

- www.consilium.europa.eu
- <https://www.inrae.fr/actualites/lancement-dinrae2030-priorites-strategiques-dinrae-10-prochaines-annees>
- <https://www.inrae.fr/collaborer/expertise-appui-aux-politiques-publiques>

Annexes

Annexe 1 – Illustration des 14 départements scientifiques de INRAE

	Action, transitions et territoires Christophe Soulard		Économie et sciences sociales Pierre Dupraz
	Agroécosystèmes Philippe Hinsinger		Génétique animale Edwige Quillet
	Alimentation humaine Lionel Bretilon		Mathématiques et numérique Hervé Monod
	Aliments, produits biosourcés et déchets Michael O'Donohue		Microbiologie et chaîne alimentaire Sylvie Dequin
	Biologie et amélioration des plantes Isabelle Litrico-Chiarelli		Physiologie animale et systèmes d'élevage Françoise Medale
	Écosystèmes aquatiques, ressources en eau et risques Mohamed Naaim		Santé animale Muriel Vayssier-Taussat
	Écologie et biodiversité Catherine Bastien		Santé des plantes et environnement Marie-Hélène Ogliaastro

Annexe 2 – Photographie d'un autoclave



Annexe 3 – Photographie d’une étuve à haute température



Annexe 4- Photographie d’une boîte de cônes de pipette traditionnelle



Annexe 5 – Tableau représentant la notion de la NACRES

1 - Thème	A	APPROVISIONNEMENTS GENERAUX
2 - Domaine	AA	ALIMENTATION - RESTAURATION - HOTELLERIE
3 - Sous-domaine	AA.0	PRODUITS ALIMENTAIRES CONGELES
4 - Famille = Groupe de marchandises	AA.01	PAINS, PATISSERIES, VIENNOISERIES CONGELES
	AA.02	PRODUITS CARNES CONGELES
	AA.03	PRODUITS DE LA MER OU D'EAU DOUCE CONGELES
	AA.04	FRUITS ET LEGUMES CONGELES
	AA.05	PREPARATIONS ALIMENTAIRES ET PLATS CUISINES CONGELES
Exemples	Exemples	Préparations alimentaires élaborées congelées
		Crèmes glacées, glaces et sorbets
		Autres préparations alimentaires congelées

Annexe 6 - Tableau Excel permettant le calcul de la masse de plastique consommée par l'unité SAVE au cours de la période 2021-2022

A	B	C	D	E
Consommables	Quantité	Poids en g	Total en g	Total en Kg
Barettes de bouchons 8 tubes	300	1,12	336	0,336
Barrettes microtubes QPCR	200	1,12	224	0,224
Boite de pétri carrée 120x120	240	45	10800	10,8
Boite de pétri ronde 150mm	120	43,5	5220	5,22
Boite de pétri ronde 90mm	66000	14,5	957000	957
Boite de pétri ronde 99mm	104		0	0
Bouchons ailette 11-13	1000	0,5	500	0,5
Bouchons ailette 15-17	2000	0,9	1800	1,8
Collection microtubes	20160	5,4	108864	108,864
Collection microtubes caps	17280	0,7	12096	12,096
Cryotubes 1,6mL	500	2,2	1100	1,1
Cryotubes 1,8mL	3000	2,2	6600	6,6
Cryotubes 2mL	8200	2,2	18040	18,04
Etaleur orange	1000	2	2000	2
Etaleur rateau bleu	4000	2	8000	8
Flacon de culture 800mL	30	100	3000	3
Flacon de prélèvement	500		0	0
Flacon Polyéthylène 250mL	300		0	0
FlaconPP 40mL	1000	9,1	9100	9,1
Microtubes 0,5mL	4000	0,46	1840	1,84
Microtubes 1,5mL	27000	1	27000	27
Microtubes 2mL	31000	1,1	34100	34,1
Microtubes 2mL bouchon vissé	1000		0	0
Microtubes 5mL	2350	3,1	7285	7,285
base soufre 1mL	2000		0	0

Annexe 7 - Extrait d'un tableau Excel permettant le calcul des émissions de gaz à effet de serre liés aux items utilisés

ACV (CO2e) ITEMS DE LABORATOIRE													
1- Empreinte carbone des MPUU (EXTRACTION/MATIERE 1ere)											48,49812983		
Items	Tailles	Poids unitaire			Nb items	Poids total	Matière	Emissions CO2e (prod. 1 item)			Totales émissions CO2		Totales émissions P.Recycl
		g	kg	t				t	kg	g	kg	t	t
Pointes	TOTAL	0,83	0,00083	0,0000083	6767	5,61661	PP	0,00000166	0,00166	1,66	11,23322	0,01123322	1,1345522
	0,1 - 10 µL	0,121	0,000121	0,00000121	890	0,10769	PP	2,42E-10	0,000242	0,242	0,3047627	0,000304763	=G9*557
	2 - 200 µL	0,341	0,000341	0,00000341	3237	1,103817	PP	6,82E-10	0,000682	0,682	5,12380211	0,003123802	=G10*558
	50 - 1000 µL	0,657	0,000657	0,00000657	653	0,429021	PP	1,314E-09	0,001314	1,314	1,21412943	0,001214129	=G11*559
	10 mL	2,201	0,002201	0,000002201	1987	4,373387	PP	4,402E-09	0,004402	4,402	12,37688521	0,012376885	=G12*5510
Pipettes	TOTAL	45,001	0,045001	4,5001E-06	650	29,25065	PS	1,2735E-05	127,35283	127352830	82,7793395	0,08277934	5,9086313
	1mL	3,967	0,003967	3,967E-07	250	0,99175	PS	1,1227E-06	11,22661	11226610	2,8066525	0,002806653	
	5 mL	9,447	0,009447	9,447E-07	100	0,9447	PS	2,6735E-06	26,73501	26735010	2,673501	0,002673501	
	10 mL	13,057	0,013057	1,3057E-06	250	3,26425	PS	3,6951E-06	36,95131	36951310	8,2378275	0,008237828	
	50 mL	18,53	0,01853	0,000001853	50	0,9265	PS	5,244E-06	52,4399	52439900	2,621995	0,002621995	
Tube culture		6,453	0,006453	6,453E-07	1500	9,6795	PP	1,2906E-06	12,906	12906000	19,359	0,019359	1,955259
Seringue	6mL	3,891	0,003891	3,891E-07	125	0,486375	PP/PE	7,782E-07	7,782	7782000	0,97275	0,00097275	0,09824775
Flacon culture		52,736	0,052736	5,2736E-06	286	15,082496	PEHD	1,0125E-05	10,652672	49319761,9	28,95839232	0,028958392	3,046664192
1 Gant nitrile		3,558	0,003558	3,558E-07	9000	32,022	Nitrile	=E24*FE.nitrile=E24*FE.nitrile-E24*FE.nitrile			=G24*/8/1000	=L26/1000	6,468444
Bouchons		??	??	??	1905	=D28*F22	PP/PTE	=E28*R7			=G28*R8/1000	=L28/1000	=(G28*V58)/1000
Boite pétris		??	??	??	1800	=D30*F30	PS	=E30*Y7	=E30*Y8	=E30*Y9			
TOTAL t CO2e											0,177662	18,61180146	
* points en plastique recycle (valeur utilisé ici PE8D, attention)													
2- Empreinte carbone des MPUU (MOULAGE)													
Items	Tailles	Poids			Nb items	Poids total	Matière	Emissions CO2e (prod. 1 item)			Totales émissions CO2	Totales émissions PR	

Table des matières

Remerciements	3
Sigles et abréviations	4
Sommaire	5
Introduction	6
Chapitre I – L'état des lieux de la consommation de plastiques des unités INRAE	12
Section 1. Le constat des situations initiales	122
<i>Sous-section 1) L'explication et l'analyse de la consommation de plastiques par les laboratoires</i>	122
<i>Sous-section 2) La réflexion autour des technologies existantes</i>	16
Section 2. Les opérations de calculs de la consommation plastique des unités partenaires .	18
<i>Sous-section 1) L'opération de tri des achats plastiques sur la base de la nomenclature NACRES</i>	18
<i>Sous-section 2) La pesée des objets en plastique et le calcul du bilan carbone</i>	20
Chapitre II – La recherche d'alternatives aux plastiques de laboratoire des unités INRAE	22
Section 1. Les spécificités de chaque unité INRAE	23
<i>Sous-section 1) Des consommables plastique parfois irremplaçables</i>	23
<i>Sous-section 2) De réelles pistes d'optimisation</i>	255
Section 2. La mise en place de la méthodologie REDPLAST	29
<i>Sous-section 1) Les scénarios d'optimisation d'une expérience type de laboratoire</i>	30
<i>Sous-section 2) La diffusion de la méthodologie REDPLAST aux unités partenaires</i>	33
Conclusion	36
Bibliographie	38
Annexes	39
Table des matières	42

**« Mise en œuvre d'une méthodologie-pilote visant à réduire l'empreinte plastique
des laboratoires de recherche INRAE »**

Eva Truant

M2 Expertise en affaires européennes

Mots-clés : plastique, INRAE, sciences, bilan carbone, audit, économies, empreinte plastique, environnement, masse plastique, recyclage, décyclage, items plastiques, consommables, microplastiques ...

Master 2 Expertise en affaires européennes

Université de Bordeaux