



**HAL**  
open science

## Conception et fabrication de pièces par impression 3D

Nicolas Lebert, Stéphane Portanguen

► **To cite this version:**

Nicolas Lebert, Stéphane Portanguen. Conception et fabrication de pièces par impression 3D. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. hal-04819167

**HAL Id: hal-04819167**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04819167v1>**

Submitted on 4 Dec 2024

**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.

# Conception et fabrication de pièces par impression 3D

Stage à l'INRA de Theix  
Unité QuaPA, équipe IT  
Du 24/06 au 19/07



**ARTS  
ET MÉTIERS**  
ParisTech



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT

Nicolas LEBERT  
Maître de stage : Stéphane PORTANGUEN  
Année 2018-2019

;

## Remerciement

Je remercie Véronique Santé-Lhoutellier, directrice de l'unité Qualité des Produits Animaux, de m'avoir accueillie au sein de l'unité. Je remercie Pierre-Sylvain Mirade, le directeur responsable de l'équipe Imagerie et & Transferts, de m'avoir accueilli au sein de son équipe. Je remercie Stéphane Portanguen, mon maître de stage, pour son accompagnement durant ces quatre semaines. Je remercie l'équipe Imagerie et & Transferts pour son accueil et l'aide apporté durant mon stage, notamment Pascal Tournayre, pour ses explications sur les systèmes et son expertise, et Françoise Neyrial, pour ces explications sur le fonctionnement de l'unité d'un point de vue administratif et financier.

A-INTRODUCTION .....	4
1-L'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).....	4
2-L'équipe IT (Imagerie et Transferts) .....	4
3-La mission .....	<del>54</del>
B-RAPPORT D'OBSERVATION ET D'ETONNEMENT .....	5
1-Intoduction et observation générale .....	5
2-Les activités d'un cadre .....	6
3-L'institut et l'aspect financier.....	7
4-L'institut et l'environnement, l'hygiène, la sécurité.....	8
C- CONSTRUCTION DU PROJET PROFESSIONNEL.....	<del>109</del>
1-Préparation au stage .....	<del>109</del>
2-Objectif du stage .....	<del>109</del>
3-Défis du stage .....	10
4-Bilan de fin de stage.....	<del>1140</del>
D-CONCLUSION .....	<del>1244</del>
E-ANNEXES .....	12
1-Organigramme de l'INRA .....	12
2-SWOT de l'INRA .....	<del>1443</del>
3-Organigramme de l'unité QuaPA.....	<del>1544</del>
4-Fiche sur l'activité d'un cadre .....	<del>1544</del>
5-Fiche sur l'institut et l'aspect économique .....	<del>1645</del>
6-fiche sur l'institut et l'environnement, l'hygiène, la sécurité .....	<del>1645</del>
7-Eléments pour l'hygiène et la sécurité .....	<del>1645</del>
8-CV avant le stage .....	<del>1847</del>
9-CV après le stage.....	<del>1847</del>
10-Poste de travail et logiciels utilisés .....	<del>1847</del>
11-Fabrication et exemple de gélatine.....	<del>2120</del>
12-Le scanner 3D et le logiciel d'acquisition.....	<del>2224</del>
13-Les imprimantes 3D à disposition.....	<del>2224</del>
14-L'imprimante Ghost après modification .....	<del>2423</del>
15-Collier chauffant et seringue PreciFluid .....	<del>2523</del>
16-Documents et sites utilisés .....	<del>2523</del>

## A-INTRODUCTION

### 1-L'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique)

L'INRA est un institut de recherche de la fonction publique dont la devise est : Agriculture, Alimentation et Environnement. Pour commencer la présentation de l'INRA, voici son histoire :

- **1946**, l'INRA est créé afin de palier/pallier à une lacune de la production agricole en France.
- **1960**, l'objectif étant atteint, l'INRA se sépare en plusieurs pôles régionaux afin de développer des recherches plus ciblées.
- **1973**, l'Inra prend en compte les objectifs environnementaux.
- **2020**, l'INRA fusionne avec l'IRSTEA.

Aujourd'hui, l'INRA c'est 13 départements de recherches répartis sur 17 centres et composés de 250 unités de recherches et de 45 unités expérimentales. Les unités expérimentales sont des unités travaillant, pour la plupart, au sein des fermes expérimentales, et viennent en appui aux unités de recherches. L'INRA emploie environ 13000 personnes dont 9752 personnes titulaires.

L'INRA ne produit pas et n'est censé effectuer aucun bénéfice sur ses recherches. C'est pourquoi son principal financeur est l'état avec environ 851 millions euros de budget.

### 2-L'équipe IT (Imagerie et Transferts)

L'équipe IT fait partie de l'unité QuaPA (Qualité des Produits Animaux) qui elle-même fait partie du département CEPIA (Caractérisation et Elaboration des produits Issus de l'Agriculture). L'unité QuaPA est divisée en 3 équipes : (BPM (Biochimie et Protéines du Muscle), IT (Imagerie et Transferts) et MASS (Micro contaminants, Arôme et Sciences Séparatives)), ainsi et qu' en 2 plateformes (AgorResonance et Protéomique).

L'équipe IT est composée de 16 membres permanents dont 4 qui travaillent avec d'autres équipes, il y a aussi 4 doctorants. Le budget actuel de l'unité atteint environ 1 million d'euros ce qui est conséquent vis à vis des autres unités par rapport à ses effectifs.

L'un des projets de l'équipe IT est de prototyper une imprimante 3D alimentaire pour les personnes ayant des difficultés pour mastiquer/mastiquatoires (notamment les personnes âgées). Cela permettrait de réduire les problèmes liés à des problèmes de mastication. En effet, donner de la bouillie ne fait qu'aggraver le problème tandis que donner des produits texturés, mais adaptés, nécessitant de la favorisant l'acte de mastication permettrait de limiter le problème. La principale difficulté est qu'il n'existe que très peu de publication scientifique à ce propos. Pour mener à bien ce projet, l'équipe a en sa possession 3 imprimantes 3D dont 2 qu'elle modifie afin de créer un prototype d'imprimante 3D alimentaire.

De plus, l'équipe pense qu'au travers de ce projet, elle peut valoriser des sous-produits que l'industrie de l'agroalimentaire gaspille inutilement.

**Commenté [SP1]:** Tu passes directement de l'INRA à l'équipe IT. J'aurais d'abord présenté rapidement (ce que tu as déjà fait en partie !) l'unité (simplement les effectifs et les grands axes de recherche), puis l'équipe. Enfin, s'il te reste de la place !

### 3-La mission

Les objectifs fixés à la signature de la convention ont évolué à mon arrivée dans l'unité. Ceux-ci, à la base ne comportaient que l'utilisation et la maintenance des imprimantes 3D présentes sur le site mais aussi la modélisation de pièces en cas de besoin.

A ces objectifs se sont rajoutés la production de gels de gélatine en grande quantité. Ces gélatines devaient être de concentrations différentes et/ou de compositions différentes. Ensuite, à l'aide d'un scanner 3D, on peut scanner la forme de la gélatine afin de voir qu'elles étaient les meilleures concentrations et compositions pour des expériences futures.

Il faut savoir que mon stage faisait suite à un stage d'un étudiant de l'IUT d'Alliere-Montluçon en génie électrique et informatique industrielle. Il devait modifier le logiciel d'une des imprimantes présentes sur le site afin de l'utiliser pour l'impression de produits à base de gélatine. Cet objectif ayant été atteint, il a laissé des documents permettant de voir les parties modifiées dans le logiciel. J'ai donc eu aussi comme objectif de modifier cette imprimante d'un point de vue mécanique pour intégrer des seringues.

Commenté [SP2]: OK, mais ça ne sort pas un peu du cadre de ton stage ?

## B-RAPPORT D'OBSERVATION ET D'ETONNEMENT

### 1-Introduction et observation générale

Lors de mes observations, ce qui m'a le plus étonner-étonné, c'est l'aspect financier de l'institut et l'aspect hygiène et sécurité. En effet, ce sont deux aspects de l'institut qui sont intéressants à développer.

L'INRA étant un institut public, il fonctionne avec des fonctionnaires de différentes catégories. Il existe trois catégories :

- La C qui correspond aux niveaux -BEP et CAP
- La B qui correspond aux personnes ayant le BAC
- La A qui correspond aux personnes ayant un diplôme BAC+2 minimum.

Il est possible de monter en catégorie sur concours.

En plus des catégories, il y a un système d'échelon qui valorise l'ancienneté du personnel. Le personnel gagne, en moyenne, un échelon tous les deux ans. A cela vient s'ajouter les primes pour les membres permanents de l'INRA.

L'embauche de nouveaux personnels se fait aussi sur concours avec un dossier qui est noté et traité par un jury. Suite à cette première sélection, il y a un écrit et un oral qui ont chacun une note. La moyenne des trois notes donne un classement final où le premier candidat est gardé. Il faut savoir qu'il y a une liste « complémentaire » qui garde les candidats suivants au cas où le premier refuse le poste.

Le personnel de l'INRA travail 38h par semaine, et de ce fait, bénéficie d'une ~~mais il a du coup en~~ compensation sous forme de RTT. Il y a au total 29 jours de congés plus 11 jours de RTT et 2 jours de congés par de fractionnement, soit 42 jours de congés par an.

Pour ce qui est de la communication interne dans l'INRA, la majeure partie des messages est transmise par email. La communication se fait aussi par un réseau téléphonique entre les différents bâtiments et aussi lors des pauses. Il y a aussi la présence de réunion pour transmettre les informations importantes qui peuvent susciter des questions ou des gêner des problèmes de compréhension. On peut noter ~~l'existence~~ présence d'un journal interne publié chaque ~~semestre-trimestre, ainsi que d'une newsletter hebdomadaire~~ pour tenir au courant le personnel du centre ARA (Auvergne Rhône-Alpes) de ce qui se passe.

La communication externe de l'INRA se fait :

- Au travers de publications et séminaires pour le ~~côté~~ côté scientifique ;
- Par mail, téléphone ou visioconférence pour les partenariats et les médias. Il y a aussi des journées portes ouvertes sur les différents centres.

Les horaires sont assez souples pour le personnel de l'INRA car l'horaire d'arrivée se fait entre 7h et 9h30 et le départ entre 15h30 et 19h. Il est aussi possible d'avoir des horaires arrangés en cas de périodes caniculaires ou de problèmes de santé.

## 2-Les activités d'un cadre

Pour cette partie, j'ai choisi de suivre l'activité de mon maître de stage Stéphane Portanguen, ingénieur d'études en techniques biologiques dans l'équipe IT. Il obtient en 1997 un Bac technologique en Sciences et techniques de Laboratoire et il enchaîne sur un diplôme universitaire de technologie en génie biologique à l'université de Bretagne occidentale qu'il obtient en 1999. Ensuite, ~~il recruté à l'INRA, mais il~~ continue ses études avec un diplôme d'Etudes Supérieures Techniques en génie biologique au Conservatoire National des Arts et Métiers à Clermont-Ferrand en 2004, et il finit ~~ses~~ ses études en 2006 avec un diplôme d'ingénieur (Master's Degree) en Sciences et Techniques du Vivant, toujours au Conservatoire National des Arts et Métiers. En mars 2019, il a commencé un doctorat sur l'impression 3D alimentaire.

On peut définir le travail de Stéphane Portanguen au travers de 3 missions principales, la conception et le développement de méthodes et de prototype (environ 40% de son temps), la conduite d'expérimentations et le traitement des résultats (environ 30% de son temps) et la veille bibliographique et la valorisation (environ 20% de son temps). Il a aussi des activités transversales (environ 10% de son temps) comme la prévention, l'hygiène et la sécurité, ~~il~~ est d'ailleurs l'assistant prévention de l'unité QuaPA et aussi membre du groupe pour la prévention des conduites addictives. ~~Il participe également à la~~ Il participe également à la formation et à l'encadrement du des personnels non-titulaires comme les stagiaires ou les doctorants. Cette activité le conduit à corriger des rapports de stage, et il assure des jurys en BTS AnaBioTech. ~~et Au niveau du fonctionnement de l'unité QuaPA, S. Portanguen~~ est membre nommé au conseil de gestion de l'unité. QuaPA. Parfois, il corrige des rapports de stage ou de thèse et il assure des jurys en BTS AnaBioTech.

On ne peut pas vraiment dire qu'il ~~a existe~~ une journée type car plusieurs facteurs peuvent influencer une journée. Par exemple, la présence d'étudiants à encadrer ou encore le type et l'avancement d'un projet sont des facteurs qui peuvent influencer son planning. Cependant, ses journées commencent souvent par la réponse aux différentes demandes qu'il a ~~reçu~~~~reçues~~ par mail. Ensuite, la veille bibliographique ~~rempli~~~~occupe~~ une place importante de son temps. Effectivement, c'est une étape obligatoire dans tous les projets que l'équipe effectue car cela permet :

- De soumettre des idées ;
- De confirmer la faisabilité des idées proposées ;
- De déterminer un protocole d'analyse ou de concevoir un prototype qui réponds à une problématique.

Une fois ces 3 étapes réalisées, il peut passer à la réalisation :

- Du prototype avec pour outil le logiciel de CAO Inventor, de machines de fabrication additives et des machines de fabrication soustractive ;
- De l'analyse en laboratoire au travers de la mise en œuvre de techniques analytiques (dosage d'ions, ...). Il faut, après avoir réalisé l'expérience, mettre en forme les résultats et les interpréter.

Au cours d'une journée, Stéphane a de nombreuses discussions avec les membres de son équipe qui ont une formation différente afin d'avoir leurs points de vue sur les idées qu'il propose ou pour voir l'avancement d'un projet. Cela permet de vérifier la faisabilité de certaines idées et donc de limiter la perte de temps sur certains concepts non pertinents dans le cadre du projet en question.

### 3-L'institut et l'aspect financier

L'INRA est un institut de recherche dépendant des ministères de la recherche et ~~du ministère de~~ l'agriculture. Son financement ~~est se fait~~ donc majoritairement ~~sous la forme~~ des subventions d'état (SE). Ces subventions sont données aux différents ~~départements qui les redistribuent ensuite aux~~ unités. ~~Les sommes et leurs valeurs versées~~ dépendent du nombre de personnel de catégorie A effectuant de la recherche.

Cependant, il y a ~~deux~~ autres modes de financement possibles pour les différentes équipes qui sont :

- Les ressources propres contractuelles (RPC) ;
- Les ressources propres non-contractuelles (RPNC) ;

Les RPC sont des contrats de recherches qui fixent un budget pour une durée maximale de 4 ans. Ce budget ne peut être dépassé car sinon le contrat peut être annulé. Ces contrats nécessitent un appel à projet qui doit être accepté par un organisme public ou privé. Le principal financeur public est l'ANR (Agence National de la Recherche). Cependant, il est difficile de recevoir un financement de la part de cet organisme au vu du nombre d'appels à projets qu'il reçoit chaque année. Il est donc nécessaire de ~~faire passer~~~~répondre~~ plusieurs fois à un même appel à projet. Néanmoins, cela permet de financer du matériel qui ne pourrait pas l'être avec les SE. Les RPC doivent être comprises dans une fourchette de prix pour pouvoir être prise au



sérieux. Effectivement, si on fait une demande de plus d'un million, il risque de ne pas y avoir beaucoup de financeur sauf si le projet a beaucoup de potentiel, tandis qu'une demande de financement de quelques dizaines de milliers d'euro serait considérée comme un projet sans ambition. C'est pourquoi, lorsqu'il y a besoin de matériels ~~coûtant~~ coûtant dans les 10 ~~k€000 euros~~ unité, il faut ~~trouver construire~~ un projet plus global, avec une problématique scientifique bien définie qui permette d'englober tout ce matériel.

Les RPNC sont des prestations liées à une expertise d'une équipe. Certaines équipes ne dépendent quasiment que des RPNC car elles n'ont pas suffisamment de personnel pour avoir de grosses subventions et/ou que leur domaine ne permet de faire que ça. C'est typiquement le cas des plateformes qui fonctionnent en partie avec les RPNC.

Ce qui est impressionnant, c'est la difficulté de recevoir certains financements et aussi de voir la persévérance avec laquelle des chercheurs qui veulent voir leurs projets financés. ~~Certains chercheurs vont même jusqu'à uniquement faire des congrès pour trouver un ou plusieurs partenaires pour avoir le financement.~~

Lorsqu'une partie du budget est dépensée, cette somme est automatiquement figée pour éviter les découverts sur les comptes. En effet, vu que l'INRA est un institut public, il ne doit pas être à découvert sur ses comptes bancaires. Les dépenses de budget sont généralement pour du matériel, des déplacements ou la rémunération de stagiaires, de doctorants et surtout du personnel titulaire.

**Commenté [SP3]:** A réécrire : la masse salariale n'est pas financée par la SE ou les différents contrats. Uniquement pour les personnels non-titulaires.

#### 4-L'institut et l'environnement, l'hygiène, la sécurité

Dans le bâtiment où j'effectuais mon stage, la majeure partie des locaux étaient des bureaux. Néanmoins, il y avait aussi la présence d'ateliers et de ~~mais surtout de~~ laboratoires (de microbiologie, de biochimie). Il faut savoir qu'à l'INRA, il y a en moyenne un accident par jour et que dans 30% des cas, le blessé se retrouve en arrêt maladie. Les plus grandes causes d'accident à l'INRA sont les chutes et une mauvaise gestuelle lors de la manipulation d'objets lourds.

**Commenté [SP4]:** D'où vient ce chiffre ?

Toutes les personnes arrivant à l'INRA reçoivent une formation sur l'hygiène, la santé et la sécurité au travers d'animations, de vidéos et de questionnaires. Cette formation permet de responsabiliser le personnel sur l'hygiène et la sécurité. J'ai moi-même dû effectuer cette formation afin d'être mis au courant des règles et des gestes à adopter si je suis témoin d'un accident. De plus, il y a comme dans toute entreprise ~~ou~~ institut un règlement intérieur à respecter, à l'INRA c'est l'OPPI (Outil de Pilotage pour la Prévention de l'INRA).

**Commenté [SP5]:** OPPI et règlement intérieur sont 2 choses différentes. L'OPPI est un outil d'évaluation des risques. Le règlement, comme son nom l'indique, impose des règles à suivre pour la bonne marche de l'Institut.

~~Dans les~~ Pour le travail de ~~bureaux,~~ il ~~existey a~~ une politique d'ergonomie du poste de travail pour limiter l'apparition de troubles musculo-squelettiques (TMS) quand même quelques consignes sur comment s'asseoir, placer son écran ou encore boire en cas de grande chaleur. On peut aussi noter les plans d'évacuation en cas d'incendie. Mais la majeure partie des consignes strictes sont pour les laboratoires, les ateliers et les ~~fermes domaines expérimentales~~ expérimentaux. En effet, dans ces ~~laboratoires~~

**Commenté [SP6]:** Mal placé.

installations, les chercheurs manipulent parfois des produits chimiques, néfastes pour le corps humain, ou des organismes microscopiques. C'est pourquoi certaines précautions sont prises ~~dans ses locaux un peu particuliers~~ :

- Le port de la blouse blanche est obligatoire lorsqu'on manipule. Les blouses sont stockées dans des penderies proches des laboratoires ~~\_afin que les chercheurs ne les oublient pas chez eux\_~~;
- Le port de gant et de lunettes est obligatoire dans le cas où on manipule des produits dangereux pour le corps humain. Il est à noter que les gants sont fournis dans les laboratoires-;
- Il faut utiliser les hottes installées dans les laboratoires lorsqu'on utilise des produits qui émettent des gaz dangereux ~~\_ou s'il y a des risques de projection\_~~ ;
- Avant de sortir, il est obligatoire de se laver les mains pour des raisons d'hygiène et sécurité car même si on n'a pas manipulé de produits dangereux, on ne sait pas ce qui a été manipulé avant-;
- On peut noter la présence de douches de sécurité ainsi que de lavabos/rince-œil pour se nettoyer les yeux proches de laboratoire en cas de projection de produits dangereux-;
- Dans chaque laboratoire, il y a la présence de kit de secours pour en cas de blessures dû à un déversement de produits chimiques ou radioactifs.

Le principal danger vient du fait que certaines personnes vont travailler seules dans les laboratoires et que s'il y a un problème personne n'est au courant. C'est pourquoi, il y a eu l'installation du DATI (Dispositif d'Alarme du Travailleur Isolé). Ce Dispositif est composé d'un boîtier et d'un téléphone. Quand il n'est pas utilisé, le boîtier est branché sur le secteur (il détecte les coupures de courant pour ne pas se déclencher intempestivement). L'utilisateur doit débrancher le boîtier pour l'activer et ensuite prendre avec lui ce boîtier et le téléphone associé au boîtier. Ensuite le fonctionnement est simple. Si l'utilisateur ne bouge pas suffisamment, le boîtier se met à bipper ainsi, l'utilisateur a la possibilité d'arrêter l'alarme. S'il ne l'arrête pas, alors le boîtier communique ~~à avec~~ un centre d'appel. Ce dernier appel alors sr le téléphone associé au DATI qu'il y a un problème et celui-ci appel le téléphone associé au boîtier.

A partir de là, il y a trois cas possibles :

- ~~Le premier est~~ l'utilisateur répond mais et il n'y a aucun problème : la procédure s'arrête là ;
- ~~Le deuxième est~~ l'utilisateur répond mais il y a un problème auquel cas des secours lui sont envoyés-;
- ~~Le troisième et dernier est celui où~~ l'utilisateur ne répond pas et donc on lui envoie les secours-;

Dans les cas où les secours sont envoyés, le boîtier est géolocalisé ce qui permet de savoir où envoyer les secours retrouver plus facilement la victime. Il reste un cas où l'utilisateur se blesse, celui-ci peut appuyer sur un bouton présent sur le boîtier pour appeler les secours. Néanmoins, les cas où une personne se retrouve seule à effectuer un travail dangereux sont rares et planifiés à l'avance.

**Commenté [SP7]:** Il est interdit de ramener les blouses à la maison (j'espère qu'Isabelle ne le fait pas ☹).

Ces dispositifs et règles semblent efficaces compte-Atenu du nombre de personnes employées à l'INRA. De plus, cela permet de réduire les accidents graves sur les différents centres.

## C- CONSTRUCTION DU PROJET PROFESSIONNEL

### 1-Préparation au stage

Pour mon stage, j'avais pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement d'une imprimante 3D. En effet, cette technologie pourrait à l'avenir devenir un incontournable dans l'industrie. De plus, avec une imprimante 3D, il est possible d'obtenir des pièces plus complexes, voir des pièces non fabricables en usinage. Ce n'est pas une technologie qui va remplacer l'usinage car il faut toujours effectuer un traitement de surface à la fin du processus mais cela peut ouvrir de grande possibilité dans des-un futurs proches.

Aujourd'hui, l'impression 3D ne se limite pas qu'aux polymères. On peut imprimer presque tous les matériaux en passant par les métaux (acier, titane, aluminium, ...) au béton, au-en passant par le bois (alliage composé d'environ 60% polymère et de bois recyclé). Cette technologie ne s'arrête pas qu'aux matériaux industriels car les domaines de la santé et de l'agroalimentaire s'intéressent aussi à cette technologie.

### 2-Objectif du stage

L'objectif du stage était de mieux comprendre le fonctionnement d'une imprimante 3D au travers de l'entretien et la modification de ce type d'appareil'une imprimante 3D. Pour cela, j'avais à ma disposition 3 imprimantes : une Stream 30 Pro Mk2 de Volumic servant à l'impression des pièces, une Prusa déjà modifiée pour l'impression de gélatine et une Ghost de FlyingBear (imprimante à modifier). A cet objectif que je m'étais fixé au début de mon stage, c'est greffé deux autres objectifs qui sont : la prise en main du scanner 3D EinScan-Pro+ et la fabrication de gélatine pour différents essais.

Pour répondre à ses objectifs, j'ai donc réparti le travail sur les 4 semaines en commençant par la fabrication des gélatines pour les différents essais, ensuite j'ai appris à utiliser le scanner 3D pour qu'un ingénieur chercheur puisse récupérer les dimensions et rayons de courbure d'une pièce et enfin j'ai commencé la maintenance et te la modification du matériel présent sur place. Pour la maintenance du matériel, il fallait sur tout nettoyer les parties sales de la machine et changez-changer les parties abimées. La Stream 30 Pro Mk2 étant l'unique imprimante utilisant des polymères, des pièces de rechange avai~~ent~~ été imprimées en avance en cas de problème.

### 3-Défis du stage

Le premier défi auquel j'ai été confrontérencontré durant mon stage est le scan de la gélatine avec le scanner 3D. En effet, la gélatine est une matière qui est difficilement scannable de part sa brillance. Pour essayer de résoudre ce problème, l'équipe IT m'a proposé de réaliser de nombreuses gélatines de différentes

Commenté [SP8]: Attention à bien être raccord avec la convention de stage ! Vont-ils apprécier ces changements ??

Commenté [SP9]: Même remarque que p5 (cadre du stage).

Commenté [SP10]: Pas vraiment, il s'agit plutôt de têtes d'impression qui sont assemblées à partir de pièces détachées achetées.

Commenté [SP11]: Pourquoi scanner de la gélatine ? Pour obtenir les dimensions de l'objet et comparer celles-ci au fichier de départ avant impression.

concentrations et de différentes compositions. Il s'est avéré que la concentration des gélatines n'a aucun effet sur la brillance. Cependant, certaines compositions étaient scannable. Par exemple, l'ajout de farine dans la gélatine permettait de rendre plus mat la gélatine et donc de la scanner, là où l'ajout de colorant alimentaire ou de glucose n'avait aucun effet sur le côté scannable. Le gros inconvénient de cette solution était que la masse en farine devait être au moins supérieure à la moitié de la masse en gélatine. Au final, ~~la gel solution~~ a été ~~d'enrouler la gélatine~~ dans de la farine ou du glucose afin d'obtenir une image approximative de la surface. On m'a demandé d'envoyer les différentes mesures de surface avec une marge d'erreur de 0.5 mm.

Le second défi ~~qui m'a été donné de résoudre a été la modification de~~ ~~consisté à modifier~~ l'imprimante Stream. Il fallait modifier le support de buse afin de pouvoir incorporer deux seringues PreciFluid de 10cm<sup>3</sup> (~~système de délivrement de matière automatique~~) ainsi que ~~les des~~ colliers chauffants L4060C41A5 ~~nécessaires à la régulation thermique des doseurs PreciFluid~~. Une difficulté supplémentaire a été ajoutée, c'était de garder le système d'axe cartésien sans avoir à le modifier. Pour cela, je devais modifier des pièces déjà existantes afin de les intégrer au mieux sur l'imprimante.

En plus de ses deux défis principaux, ce sont greffés de petits défis comme : la prise en main du logiciel Inventor 2019, la ~~restauration régénération~~ de bobines de polymère trop anciennes et la prise ~~ne en~~ main du logiciel Simplify3D pour l'impression des pièces (~~logiciel de tranchage~~). Le logiciel Inventor étant assez proche de Catia, cela n'a pas été difficile de le prendre en main, du moins pour les fonctionnalités de base. Ensuite pour la restauration des bobines de polymères, après des recherches sur des forums, il suffisait de les mettre dans une étuve à une certaine température (40°C pour le PLA et 60-65°C pour le nylon) pendant 3-4 heures afin qu'elles retrouvent en partie leurs propriétés initiales. C'est le logiciel Simplify3D qui m'a donné plus de fil à retordre car il y a beaucoup de paramètres sur lesquels on peut jouer avant de lancer une impression. Les paramètres de base suffisaient pour les impressions ne nécessitant pas une grande précision (200 microns ~~d'épaisseur de couche~~).

#### 4-Bilan de fin de stage

Lors de ce stage, j'ai beaucoup appris sur l'impression 3D d'un point vue optimisation des pièces pour réduire le temps d'impression et aussi pour réduire le nombre de ~~supports~~. J'ai aussi beaucoup appris sur les avantages et inconvénients des différents polymères notamment pour le nylon, l'ABS, le PLA et le PETG. De plus, j'ai découvert les problématiques de l'agroalimentaire avec les risques de contamination lors de l'impression d'un produit alimentaire.

J'ai pu aussi finir le montage du support à seringue sur l'imprimante Ghost en remplaçant les capteurs de fin de course afin qu'ils puissent être plus efficaces.

Ce stage m'a conforté dans l'idée de me lancer dans le domaine de l'impression 3D car c'est un domaine vaste qui est encore en court de développement et qui a un grand potentiel.

Commenté [SP12]: Terme dont tu n'as pas parlé avant, à définir ?

## D-CONCLUSION

Lors de ce stage, j'ai pu confirmer mon envie de travailler dans les domaines de la fabrication additive. Même si c'est un procédé lent, il reste encore beaucoup de chose à développer.

J'ai beaucoup appris sur l'importance d'avoir des personnes avec une des formations différentes au sein d'une équipe car cela permet d'avoir des points de vue complètement différents sur un problème donné. De plus, l'équipe m'a très rapidement accepté ce qui m'a permis de développer mon potentiel durant ce stage. L'équipe m'a laissée une liberté décisionnelle assez importante qui permettait d'être actif dans ce stage exécutant.

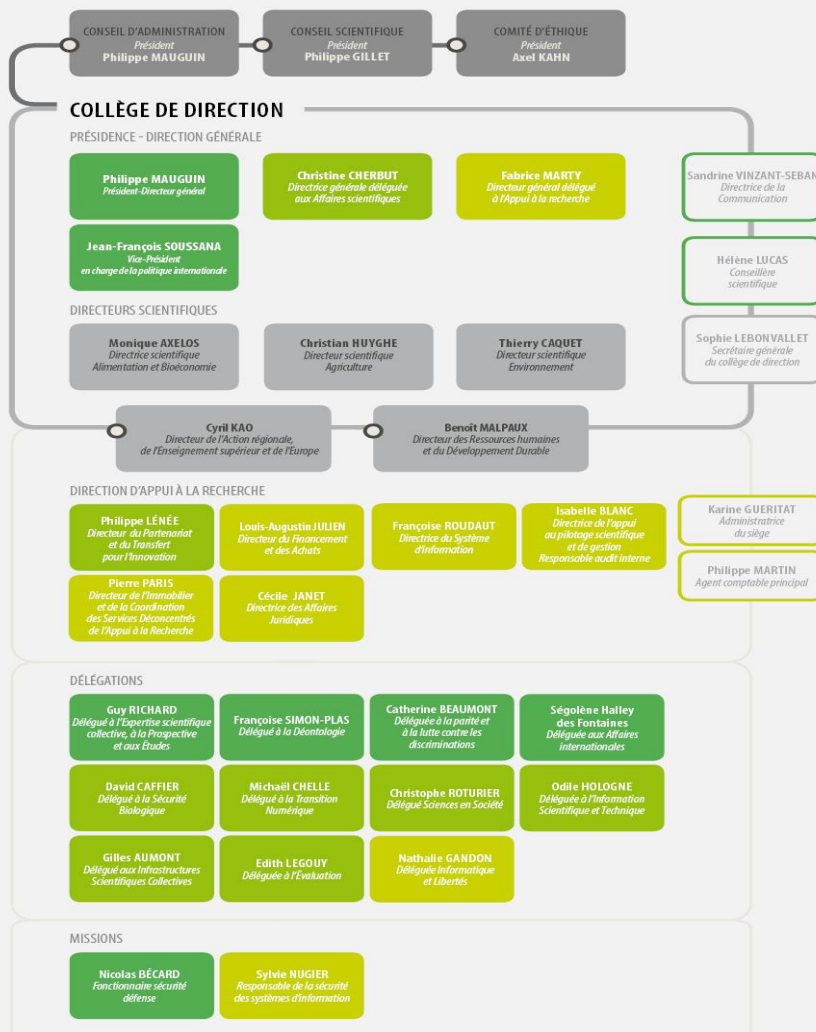
Ce stage m'a permis de voir des problématiques que les industriels de l'agroalimentaire s ne se posent pas encore, et qui aujourd'hui, ne sont presque pas développées.

**Commenté [SP13]:** Même si c'est effectivement le cas, est-ce à dire dans un rapport de stage ouvrier ? Il ne faudrait scier la branche...

## E-ANNEXES

### 1-Organigramme de l'INRA

# Organigramme





Positions géographiques des ~~centres~~Centres INRA

## 2-SWOT de l'INRA

	Positif	Négatif
<b>Origine Interne</b>	<b>Forces</b>	<b>Faiblesses</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité de recherche</li> <li>- Nombre de <del>centre</del>Centres</li> <li>- La polyvalence du personnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La difficulté d'obtenir certains financements</li> <li>- Une contrainte administrative lourde</li> </ul>
<b>Origine Externe</b>	<b>Opportunités</b>	<b>Menaces</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partenariat avec des industriels</li> <li>- Partenariat avec d'autres laboratoires</li> <li>- Partenariat académique</li> <li>- Relations internationales</li> <li>- Fusion avec l'IRSTEA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratoires privés effectuant la même recherche</li> <li>- Difficulté à publier les rés (processus lourd et lent)</li> </ul>

a mis en forme le tableau

a mis en forme : Police :Gras

a mis en forme : Police :Gras

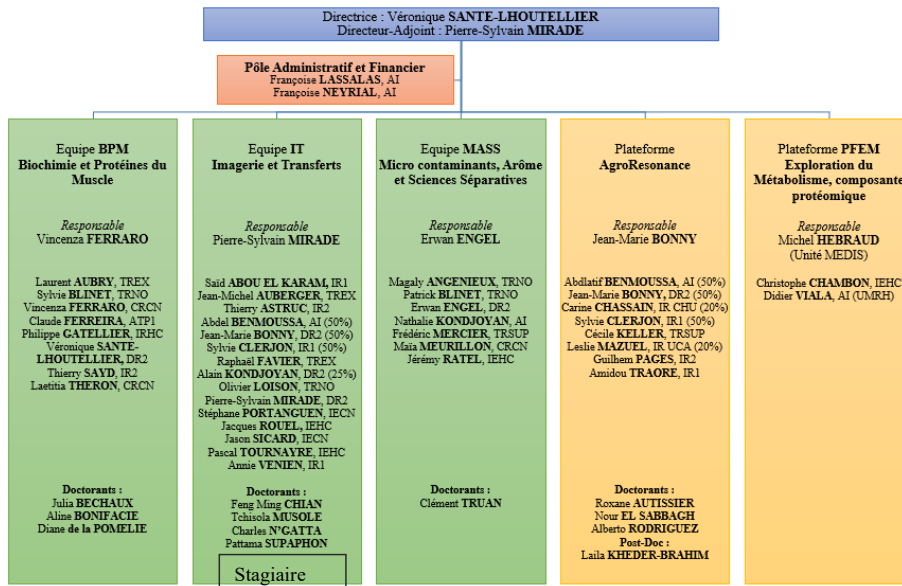
a mis en forme : Police :Gras

### 3-Organigramme de l'unité QuaPA



UR INRA 0370 – Qualité des Produits Animaux

Février 2019



### 4-Fiche sur l'activité d'un cadre

Commenté [SP14]: Nécessaire ? Etant donné que c'est déjà dit p6.

	L'activité d'un cadre
Observation	<p>Cadre observé : Stéphane Portanguen (Ingénieur d'étude en techniques biologiques)</p> <p>Formation :</p> <p><b>2019</b> : Doctorat débuté en mars 2019.</p> <p><b>2006</b> : Diplôme d'ingénieur (<u>Master's Degree</u>) - Sciences et Techniques du Vivant (Conservatoire National des Arts et Métiers, Clermont-Ferrand).</p> <p><b>2004</b> : Diplôme d'Etudes Supérieures Techniques – Génie Biologique (Conservatoire National des Arts et Métiers, Clermont-Ferrand).</p> <p><b>1999</b> : Diplôme Universitaire de Technologie – Génie Biologique (Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire de Technologie de Quimper).</p> <p><b>1997</b> : Baccalauréat Technologique – Sciences et Techniques de Laboratoire (Lycée Jean Macé, Lanester).</p> <p>Mission de l'ingénieur d'étude en techniques biologiques :</p> <p>Il doit concevoir et développer des méthodes ou/et des prototypes 40%</p> <p>Il mène aussi des expérimentations et du traitement de résultats 30%</p> <p>Il effectue de la veille bibliographique et technologique 20%</p> <p><u>Autres activités :</u></p> <p>Il gère la prévention, l'hygiène et la sécurité de l'unité QuaPA car il est Agent Prévention de l'unité. De plus, il est membre du groupe pour la prévention des conduites addictives.</p> <p>Il forme et encadre le personnel non-titulaires, il corrige des rapports de stages et assure des jurys en BTS <u>AnaBioTech</u>.</p> <p>Il est membre nommé du conseil de l'unité QuaPA</p> <p><u>Déroulement d'une journée :</u></p> <p>Plusieurs facteurs influent la journée (présence d'étudiants, type de projet en cours, avancement du projet)</p> <p>De façon général, il commence sa journée par la lecture de ses mails. Il effectue souvent des veilles bibliographiques. Ces veilles servent à mettre en forme un projet en 3 étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trouver des idées</li> <li>- Evaluer la faisabilité des idées</li> <li>- Concevoir un prototype ou réalise une analyse</li> </ul>
Etonnement	<p>Stéphane est un ingénieur polyvalent.</p> <p>Il n'a pas vraiment de journée type même s'il a des activités récurrentes comme la lecture de ses mails et la veille bibliographique.</p> <p>On devrait plutôt parler de projet type car on peut remarquer une certaine méthodologie présente dans tous les projets.</p>



### 5-Fiche sur l'institut et l'aspect économique

Commenté [SP15]: Idem.

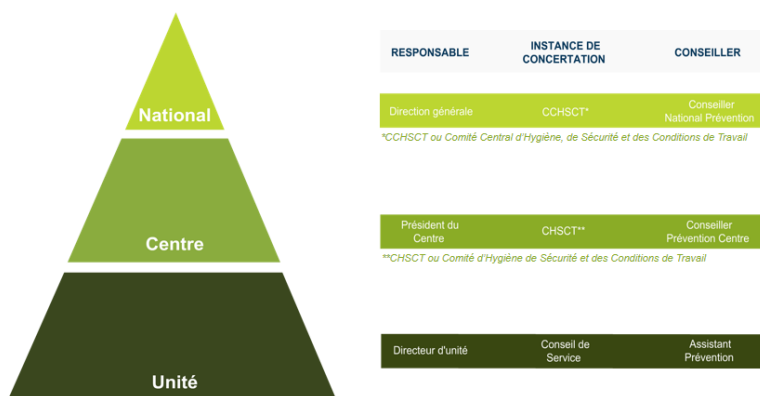
L'institut et l'aspect financier	
Observation	<p>J'ai effectué une matinée avec l'assistante ingénieure Françoise Neyrial pour comprendre le système de fonctionnement de l'institut d'un point de vue financier et administratif.</p> <p>Il y a 3 modes de financement pour l'INRA :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les subventions d'état (SE) qui dépendent du nombre d'employé de catégorie A (entre BAC+2 à doctorant) qui effectue une activité de recherche.</li> <li>- Les ressources propres contractuelles (RPC) qui sont des contrats de recherches qui attribuent un budget fixe pour un maximum de 4 ans sans pouvoir le dépasser.</li> <li>- Les ressources propres non-contractuelles (RPNC) qui sont de façon générale des prestations liées à une expertise du laboratoire.</li> </ul> <p>Même si la majorité du budget de l'unité vient de l'état, certaines unités fonctionnent majoritairement avec des RPNC car celle-ci n'ont pas le personnel nécessaire pour avoir des subventions élevées.</p> <p>Les sources de dépenses sont majoritairement pour le matériel, la rémunération du personnel et les déplacements.</p>
Etonnement	<p>Lors de la dépense d'une partie du budget, la somme dépensée est directement gelée pour éviter à l'institut d'avoir des négatifs apparents.</p> <p>La majorité du budget des unités provient de l'état (environ 80%) et le reste sont les autres modes de financement. Aujourd'hui, les unités tendent à diminuer la part de l'état dans leur budget.</p> <p>Pour les RPC, certains chercheurs passent plus de temps à promouvoir leur projet qu'à effectuer des activités de recherches car certaines subventions sont dures à obtenir.</p>

### 6-fiche sur l'institut et l'environnement, l'hygiène, la sécurité

Commenté [SP16]: Idem.

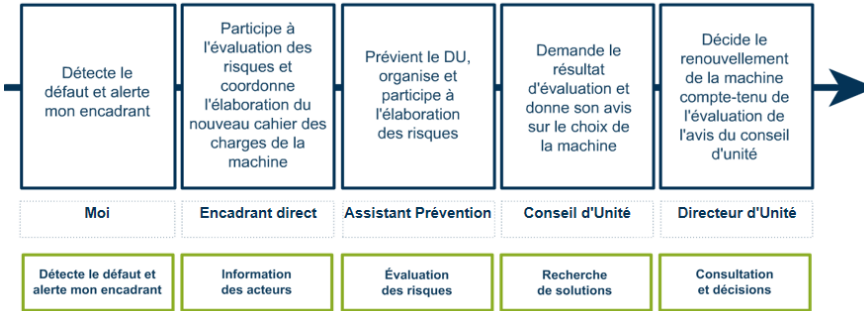
L'institut et l'environnement, l'hygiène, la sécurité	
Observation	<p>Il y a une formation d'environ 2 heures sur la sécurité au travail pour les nouveaux arrivants, je l'ai moi-même effectuée. Au départ, c'est une formation très générale puis en fonction de l'activité de l'intéressé, il y a des précisions sur la santé et la sécurité sur cette activité.</p> <p>La plupart des locaux de l'institut sont des bureaux, il n'y a donc pas de règle très stricte sur l'hygiène et la sécurité. Cependant, il y a des laboratoires de microbiologie qui nécessitent des règles strictes sur l'hygiène et la sécurité.</p> <p>Voici quelques règles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le port de la blouse est obligatoire.</li> <li>- Il faut se laver les mains avant de quitter un laboratoire.</li> <li>- En cas de manipulation de produits dangereux, il faut porter des gants, des lunettes et se mettre sous une hotte s'il y a un risque d'émanation.</li> </ul> <p>De plus, dans chaque bâtiment, il y a une douche ainsi qu'un lavabo pour se rincer les yeux en cas de projection. On peut noter la présence de kit de secours pour les problèmes chimiques et nucléaires.</p> <p>Il y a la présence de poubelle spéciale pour les déchets ayant été en contact avec des bactéries.</p> <p>Il y a la présence de DAPI (dispositif d'alarme pour le travailleur isolé) qui est composé d'un boîtier et d'un téléphone portable. L'ouvrier ne bougeant pas assez fait que le boîtier génère un son, si l'ouvrier n'arrête pas l'alarme alors le système appelle un centre d'appel qui peut appeler les secours si l'ouvrier ne répond pas à son téléphone ou qu'il indique qu'il a besoin d'aide suite à l'appel du centre. Le système étant géolocalisé cela permet d'envoyer les secours au bon endroit. Il est possible pour l'ouvrier de lui-même appeler les secours en appuyant sur un bouton présent sur le boîtier.</p>
Etonnement	<p>La sécurité et l'hygiène est quelques choses très pris au sérieux par l'INRA, en effet, il y a beaucoup de règle et de dispositif pour éviter les accidents ou du moins les limiter. L'INRA respecte le code du travail au travers de l'OPPI (Organisation du Pilotage pour la Prévention de l'INRA). Malgré ces règles, cela n'empêche qu'il y ait en moyenne un accident par jour dont 30% mènent à un arrêt maladie. Une grande partie de ses accidents sont des chutes qui sont aussi dans le monde du travail l'accident le plus courant.</p>

### 7-Eléments pour l'hygiène et la sécurité



Organisation pour l'hygiène et la sécurité à l'INRA

Conception et fabrication de pièces par impression 3D



Comment réagir à la présence d'un danger ?



Objectif de l'Assistant Prévention



Hotte pour la manipulation de produits émettant des gaz nocifs pour l'homme



Extincteur et ~~trousse de secours en cas de blessure~~kit en cas de déversement de par produit chimique ou radioactif

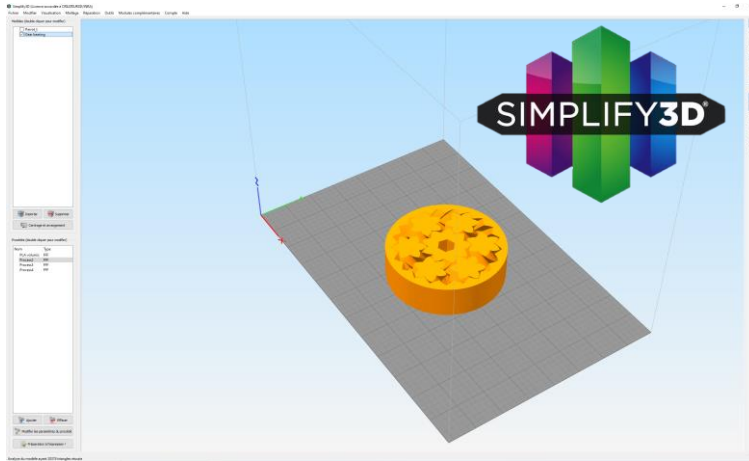
**8-CV avant le stage**

**9-CV après le stage**

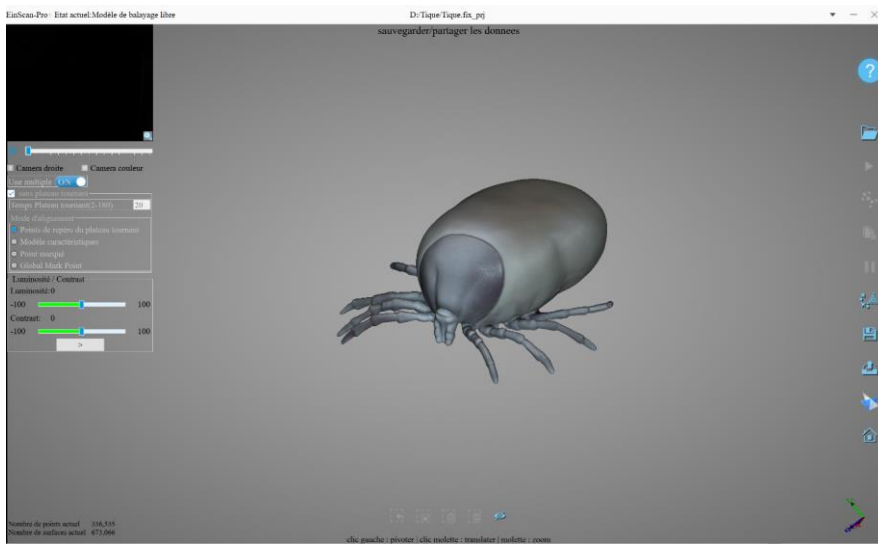
### 10-Poste de travail et logiciels utilisés



Poste de travail avec un ordinateur pour lancer les impressions et retravailler les pièces à imprimer. Cet ordinateur sert aussi à lancer l'acquisition de forme avec le scanner.

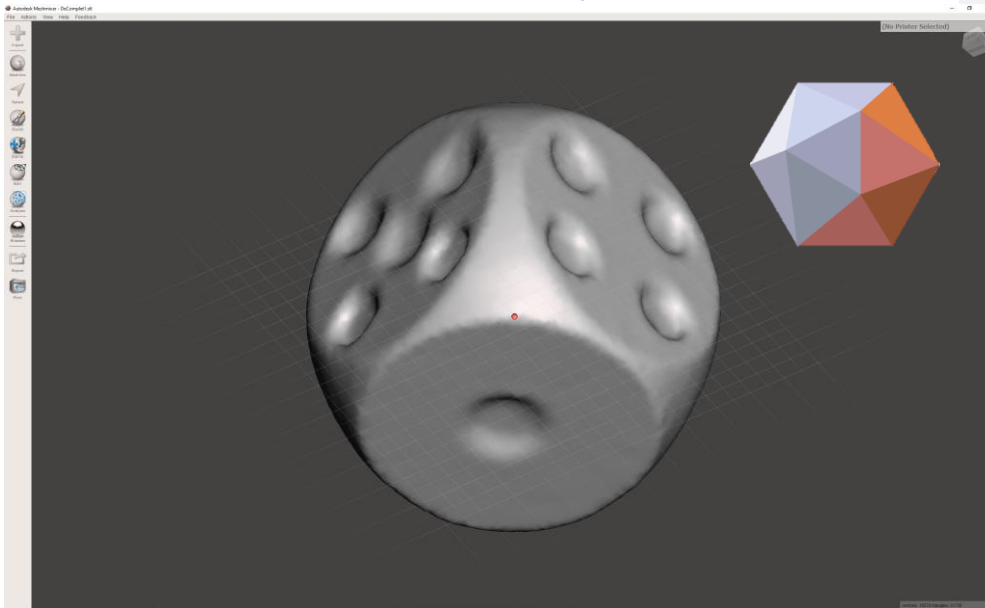


Le logiciel Simplify est utilisé pour convertir les fichiers stl en fichier gcode lisible par l'imprimante 3D, il est possible de transférer à l'imprimante le fichier transformé par câble ou carte SD.

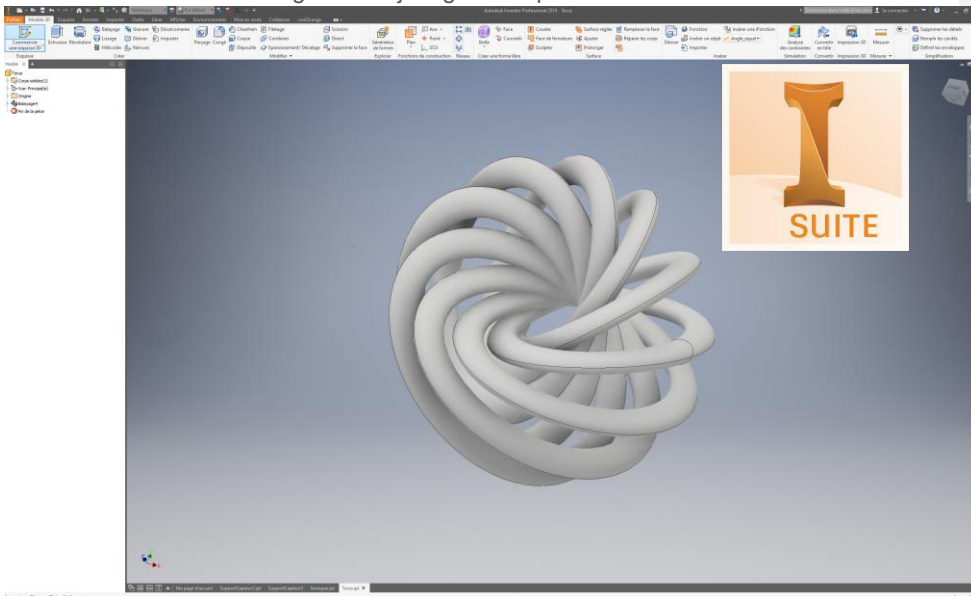


Le logiciel Einscan-Pro est le logiciel d'acquisition du scanner. Il permet au travers de différents paramètres et plusieurs acquisitions d'obtenir une représentation fidèle de

l'objet scanné. On peut choisir d'obtenir un fichier texturé ou non. Ici, nous sommes en présence d'une tige géante en plastique.



MeshMixer est un logiciel qui permet de traiter les objets maillés. Il permet d'optimiser le maillage des objets générés par EinScan-Pro.



Inventor est un logiciel de modélisation 3D comme Catia ou SolidWorks.

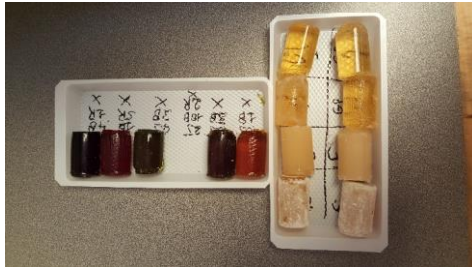
### 11-Fabrication et exemple de gélatine



Balance de précision à gauche et de la gélatine en poudre à droite  
Pour fabriquer de la gélatine, il faut mettre dans un tube de la poudre de gélatine et l'eau

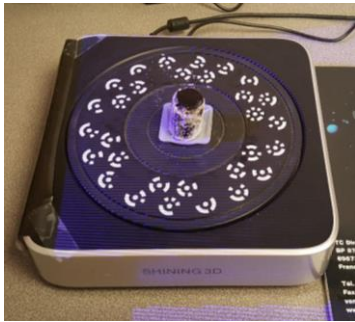


Etuve pour réchauffer la gélatine afin de mieux l'homogénéiser, les échantillons sont placés sur un plateau oscillant durant la chauffe il y a la présence d'un plateau mouvant pour homogénéiser pendant la chauffe



Exemple de gélâtines réalisées

### 12-Le scanner 3D et le logiciel d'acquisition



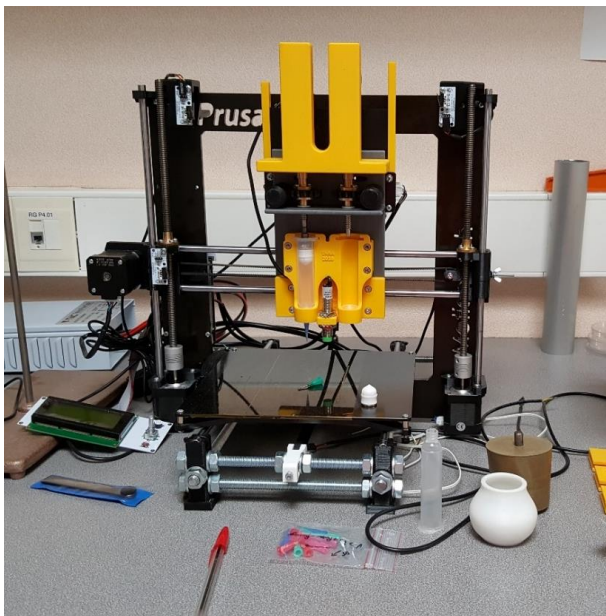
A gauche, un plateau tournant pour effectuer plusieurs acquisitions en mode fixe.

A droite, le scanner EinScan Pro+ équipé de la caméra pour les textures.

### 13-Les imprimantes 3D à disposition



3D Volumic Stream Mk2



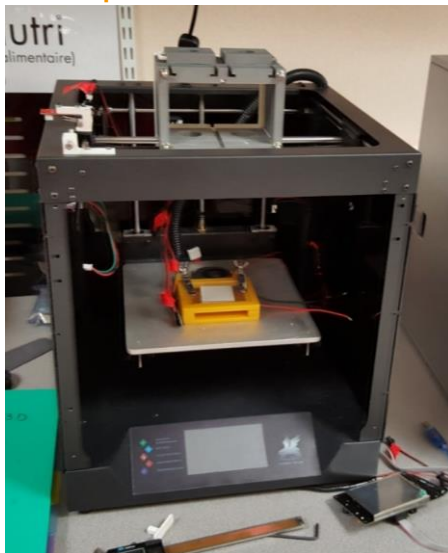
Prusa 3D





FlyingBear Ghost

#### 14-L'imprimante Ghost après modification



L'imprimante a été modifiée en remplaçant le support de la buse par un support pour deux seringues avec collier chauffant.

### 15-Collier chauffant et seringue PreciFluid



### 16-Documents et sites utilisés

- [Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., & Mirade, P.-S. \(2019\). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. \*Trends in Food Science & Technology\*, 86, 188-198.](#)
- [Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printings : a review, Stéphane Portanguen, pascal Tournayre, Jason Sicard, Thierry Astruc, Pierre-Sylvain Mirade](#)
- [Dick, A., Bhandari, B., & Prakash, S. \(2019\). 3D printing of meat. \*Meat Science\*, 153, 35-44.](#)
- [3D printing of meat, Arianna Dick, Bhesh Bhandari, Sangeeta Prakash](#)
- <https://www6.clermont.inra.fr/quapa>
- <http://institut.inra.fr/Reperes>

a mis en forme : Police :(Par défaut) +Corps (Arial), 12 pt

a mis en forme : Couleur de police : Couleur personnalisée(RVB(88;88;90))

a mis en forme : Police :(Par défaut) +Corps (Arial)

a mis en forme : Police :(Par défaut) +Corps (Arial), 12 pt

a mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, Couleur de police : Couleur personnalisée(RVB(88;88;90))