

RAPPORT D'ESSAIS PRELIMINAIRE

Conception d'une imprimante 3D a chocolat

Prototype version 1

**LE PROTOTYPE A PERMIS DE VALIDE LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.
UN USINAGE DE PIECES METALIQUES EST NECESSAIRE POUR PASSER EN TEST.**

Si vous souhaitez participer a l'aventure, monter un projet industriel, ou que votre activité nécessite de travailler des matériaux spéciaux pour lesquels il n'existe pas en core de solution :

JPABRAHAM.SMITH@gmail.com | 07 81 69 77 89

Table des matières

Résumé et contexte

Avantages de la machine

- Alimentation continue en chocolat
- Une conception prévue pour travailler
- Une machine simple
- La gestion de la température

Historique des essais

- La partie mobile : le Chariot
- La boîte de raccordement
- La pompe à Chocolat

Problème restants

- La pression
- La linéarité du pompage

Conclusions et recommandations

Résumé et contexte

Dans le cadre de l'activité de CoRe Libre dont le but est de fabriquer et vendre des imprimantes 3D – inDrimantes – et dans le contexte OpenSource et libre, nous avons rencontré madame Nadine Briallon, porteuse d'un projet de machine à Chocolat.

Jean-Philippe ABRAHAM, président et inventeur, disposait d'un embryon de machine potentiellement capable de devenir une machine adaptée au travail du chocolat. De par ses compétences en procédés industriels, le problème principal qui a été cerné était le problème de la maîtrise de la température. Vous trouverez dans ce rapport les solutions apportées.

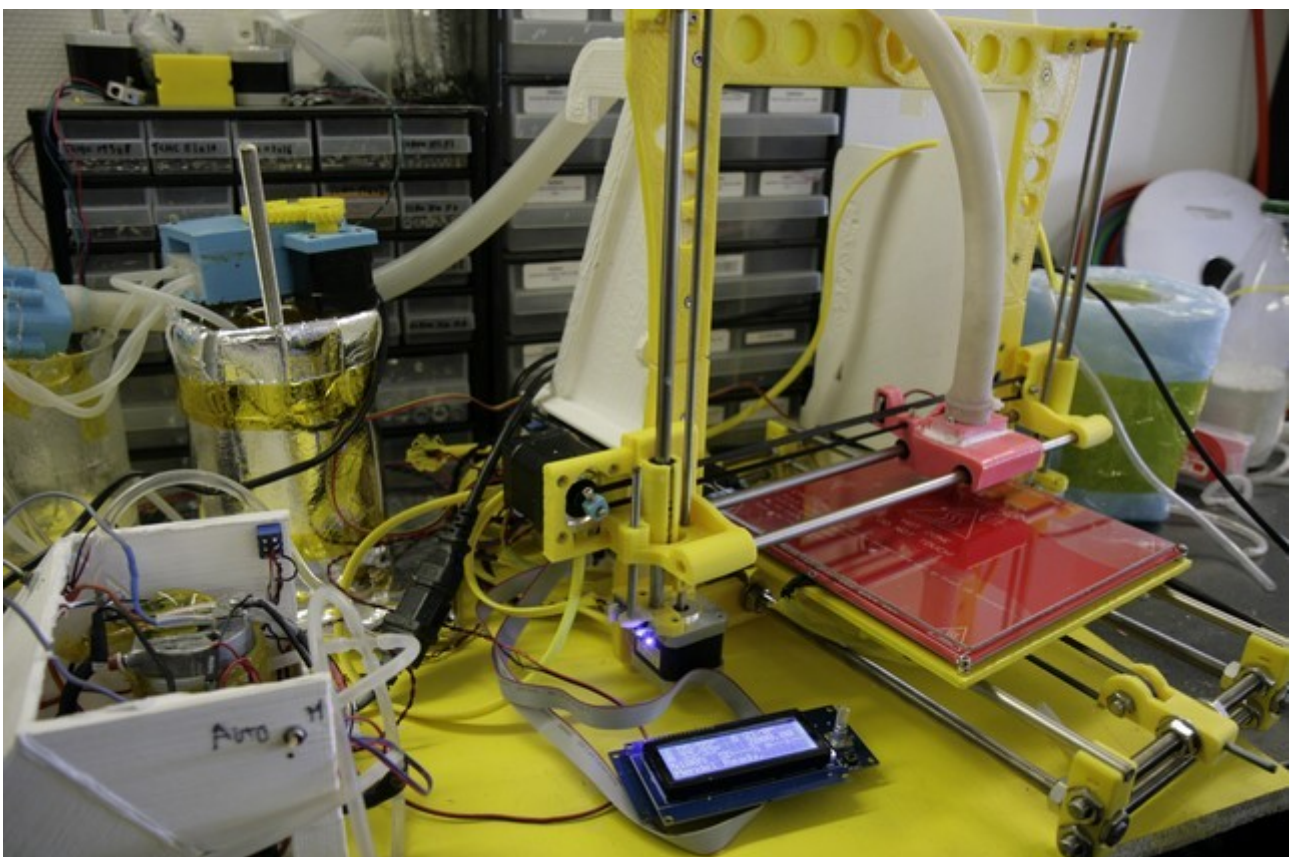
Le financement initial du projet de recherche impliquait au départ 3 entreprises et porteurs de projet pour un budget estimé à 35k€. Les travaux ont duré de Février à Octobre 2015 sur un budget de 5000€ - L'impression 3D a donc tenu ses promesses en permettant de fabriquer un grand nombre de pièces et d'avancer sur de nombreuses itérations.

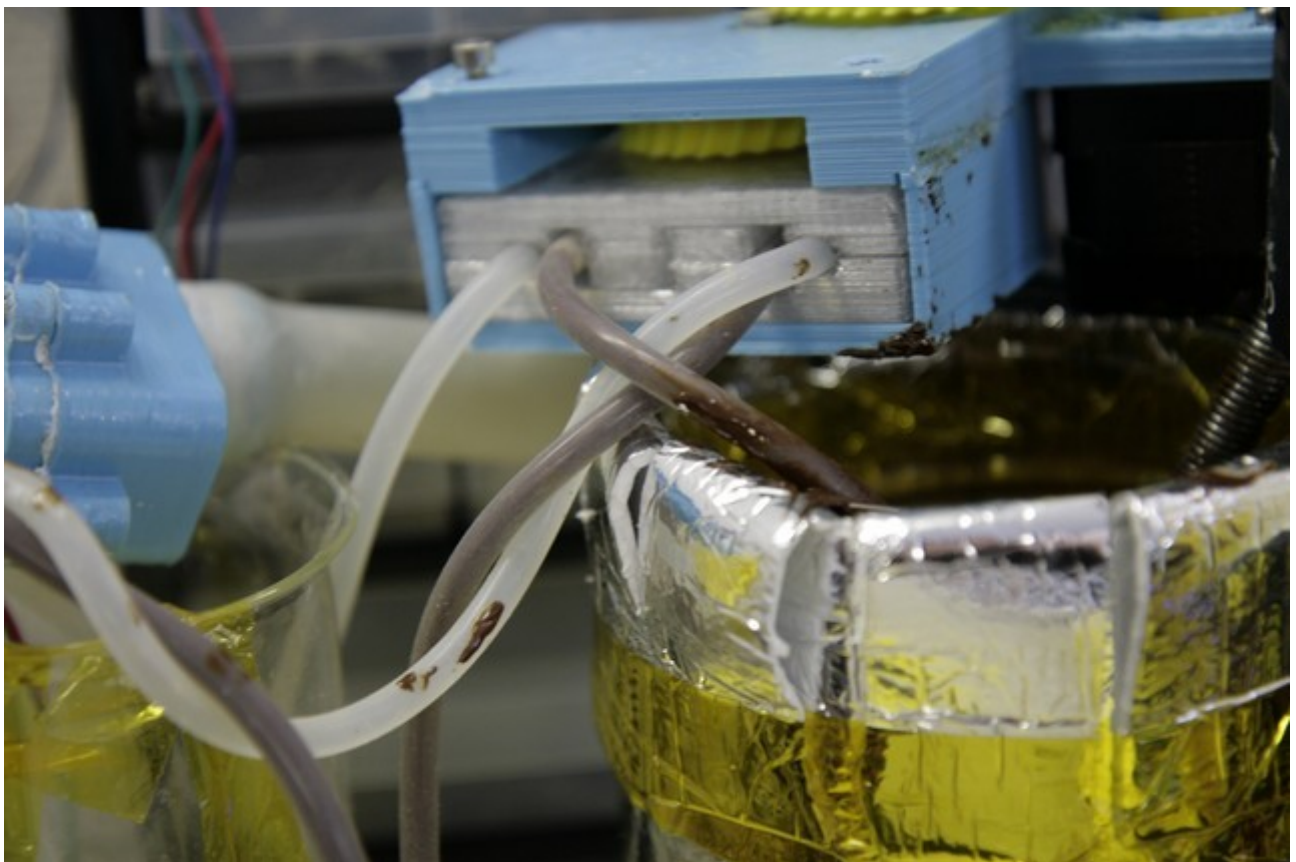
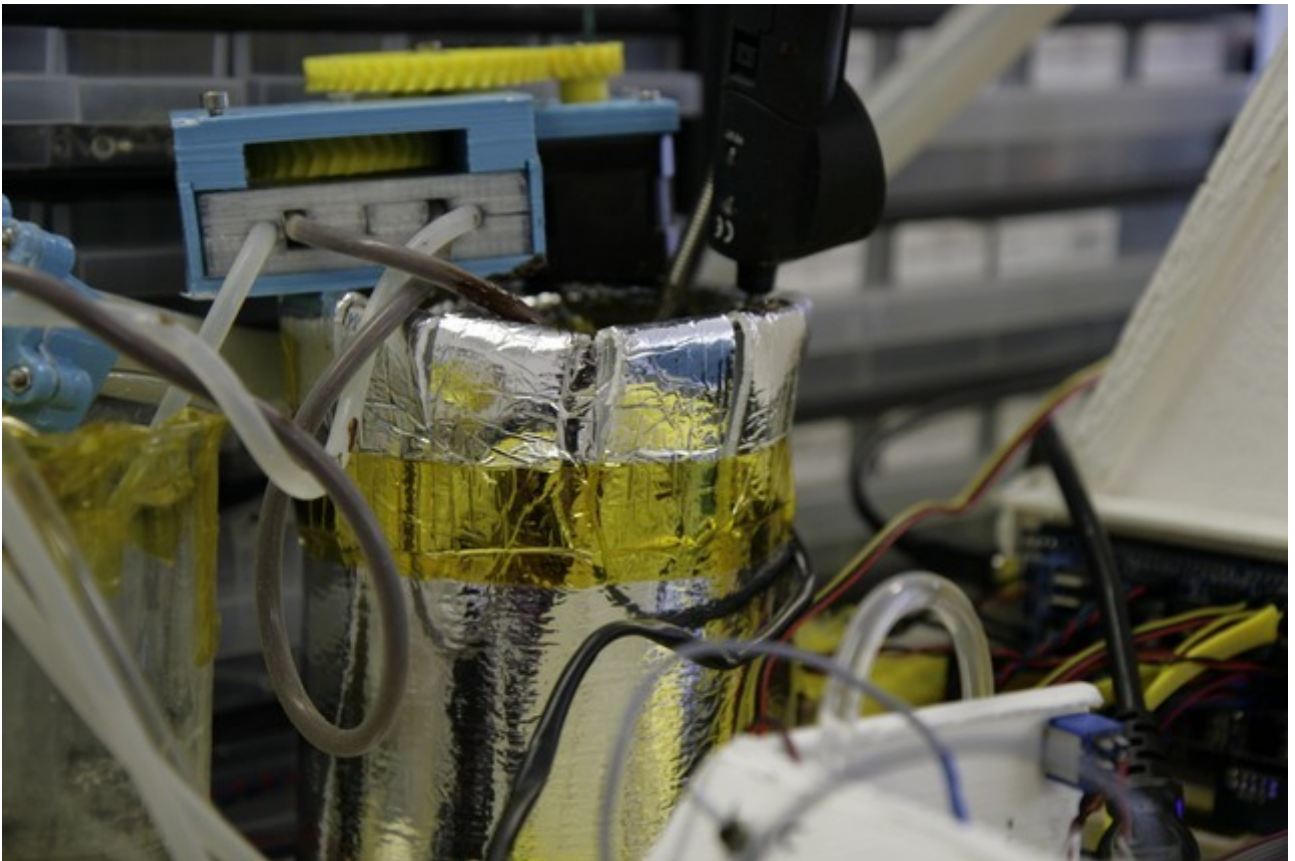
L'ensemble du prototype apporte beaucoup de réponses et valide les concepts de cette machine.

Il reste sur ce prototype des solutions à trouver, notamment sur le pompage du chocolat. Dans le cadre des poursuites de cette recherche, nous tiendrons à disposition les conclusions, recommandations et pièces à venir.

De nombreuses pistes d'essais sont disponibles et en attente de financement pour être explorées.

Jusqu'à cession des droits, les présents travaux et documents sont l'entière propriété de CoRe Libre SAS.







Avantage de la machine

Alimentation continue en chocolat

L'intégralité des machines actuelles travaillant le chocolat fonctionnent à partir d'une seringue. C'est la complexité du travail du chocolat qui impose à beaucoup cette solution. Il est en effet facile de disposer d'un pompage efficace et correcte, mais cela pose de nombreux problèmes.

En réalité, les machines à seringue ne répondent pas au besoin du marché : faible contenance, défaut de maîtrise du tempérage, temps, complexité et fréquence du rechargement.

Le prototype ici conçu se propose de pomper le chocolat directement dans un réservoir réchauffé, en permanence disponible à la surveillance de l'artisan Chocolatier. Il pourra recharger à sa convenance en chocolat fondu préparé avec toute la maîtrise de son art.

La maîtrise des températures parfaitement contrôlées dans notre prototype offre au Chocolatier une sécurité sur la qualité du produit imprimé.

C'est ici le seul moyen d'offrir aux artisans un appareil qui soit un outil et une extension de leur savoir-faire unique. Et c'est pourquoi, malgré la complexité beaucoup plus importante des solutions à trouver, c'est pour nous la seule piste viable.

Une conception au service du travail

Comme nous venons d'en parler, la machine a dès le départ pris une voie de conception orientée vers le métier du travail du chocolat. Conscient des impératifs de temps, l'une des dernières améliorations apporté au prototype a été l'ajout d'un tunnel chaud permettant à l'utilisateur de changer en un minimum de temps les parties en contact avec le chocolat.

Ceci offre :

- un rechargement en chocolat fondu immédiat
- un nettoyage de la machine inférieur à 20 minutes,
- un temps de maintenance en cas de bouchon réduit au minimum pour les productions tendues
- un très faible coût et une faible consommation de consommable
- un minimum de partie en contact avec le chocolat

Voici la procédure de changement pour nettoyage ou maintenance :

PROCEDURE ET PHOTOS

Une machine simple

L'une des plus grande réussite du projet est d'apporter une machine simple et accessible. Le prototype est basée sur les plans des imprimantes 3D les **plus vendues au monde**, les Repraps, les machines qui ont permis la démocratisation de l'impression 3D au sein d'un public toujours plus grand.

Cela implique que la base a été testée et utilisée par des dizaines de milliers d'utilisateurs de tous ages et de tout profils.

C'est la garanti de produire des machines fonctionnelles dès le départ, tout en laissant la place à des améliorations pour rapprocher d'avantage la machine de ses utilisateurs : des professionnels en quête d'efficacité.

Le développement actuel a porté sur la conception de la partie de dépose du chocolat. Le développement des pièces a poursuivi un but unique : rendre les choses simples, car cette simplicité amène naturellement un design épuré, limitant les erreurs et les pannes, facilitant énormément la réparation et la maintenance.

La gestion de la température.

Cette question de la température est primordiale pour une matière aussi noble et délicate. L'objectif de cette machine est d'être la seule sur le marché à pouvoir travailler du chocolat haut de gamme, du véritable chocolat d'artisan.

Cela offrira

- une capacité a travailler le chocolat de chaque artisan, qu'ils connaissent et maitrise, afin de garder leur repères
- une capacité à proposer un chocolat optimisé pour l'impression que nous connaissons bien et qui permette à cuisinier qui ne font pas du chocolat d'être immédiatement productif.

Ici, nous avons totalement la maîtrise de la température. Le dernier ajout sur la machine a été un second étage de température qui permet d'avoir une température de transport, et une température de dépose.

Schéma avant après

L'une des clés les plus importante de la machine est le mode de chauffage. Le chauffage principale est assuré par de l'eau. La chauffe est ainsi très douce et parfaitement respectueuse sur chocolat. C'est aussi le seul moyen efficace d'assurer une chauffe homogène tout au long du parcours, du stockages au transport en passant par le pompage.

L'une des proposition à financer consiste maintenant à condenser le circuit afin de le rendre encore plus élégant, ce qui sera traité un autre document. Nous sommes parvenu à un tuyautage de transport très efficace qui ne requiert aucune amélioration concernant la circulation de l'eau, l'amélioration portera sur l'optimisation du stockage et du pompage dans un élément tout-en-un.

SCHEMA DU CIRCUIT

Historique des essais

Le total du travail estime le travail de conception et de montage initial des pièces, représente ici 270 heures de travail.

Il faut y ajouter les temps d'essais très variables selon le type d'essais, très long lorsqu'il faut travailler avec le chocolat.

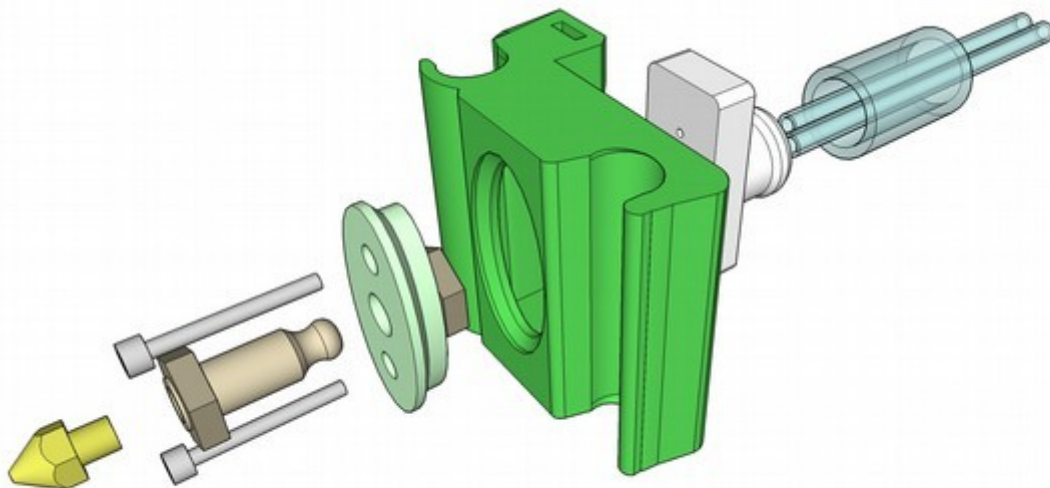
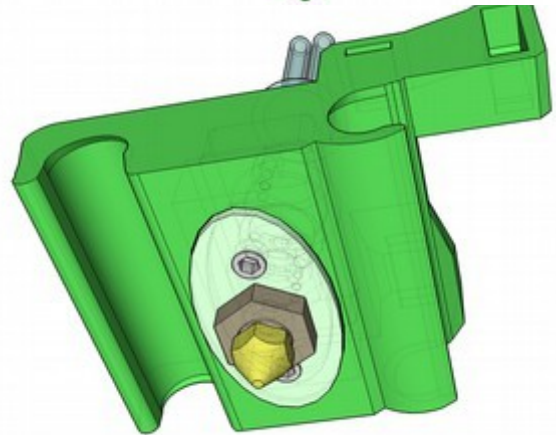
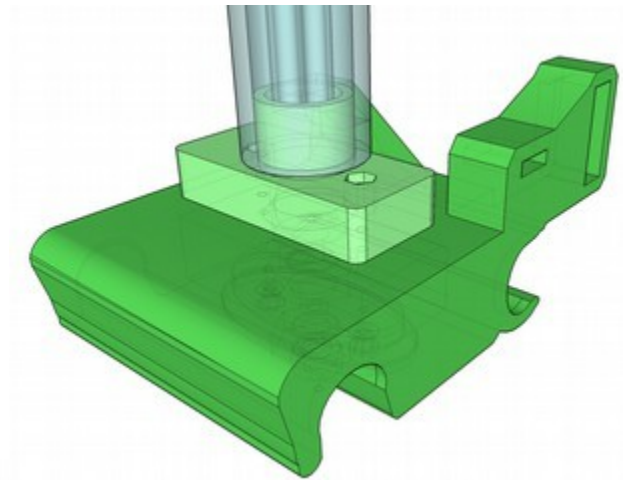
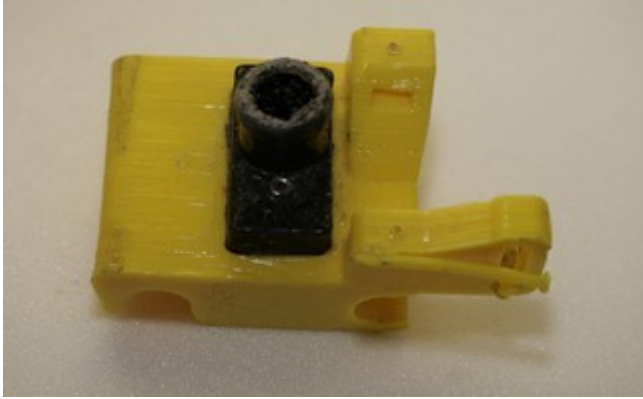
Partie mobile – Chariot

Le chariot est la pièce qui porte la partie chargée de déposer le chocolat : l'extrudeur.

Nous avons élaborer de nombreuse pièces en vu d'obtenir un bonne étanchéité, un démontage facile et une **pièce usinable** en métal pour une version plus aboutie du prototype.

Essai 1

*Temps de travail 27,5 heures : Dessin 3D – 5h | impression 5h | usinage inox 2,5h | montage : 2h
essais divers & démontage/remontage : 13h*



Le chariot de départ intègre la circulation de l'eau dans le corps même de la pièce qui accueille aussi les parties mécaniques et électriques. Il est composé de trois pièces imprimées en 3D maintenue serrées pour obtenir l'étanchéité par deux grande vis M3 et de quatre pièces métalliques pour le raccord du tuyau de transport du chocolat.

Cette pièce a été détruite par la chaleur de la chauffe (95°C) et s'est révélé fuyante.

Essai 2

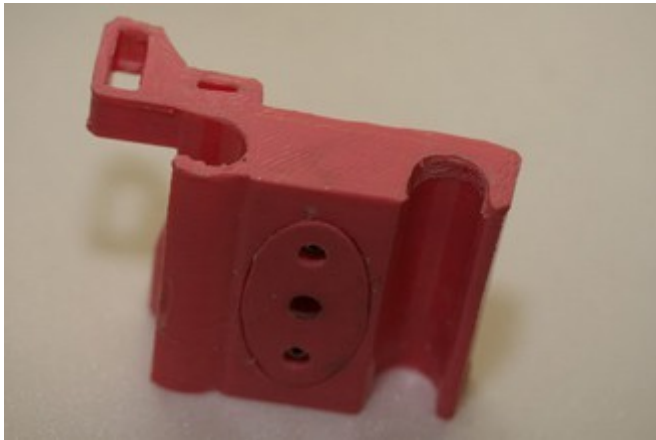
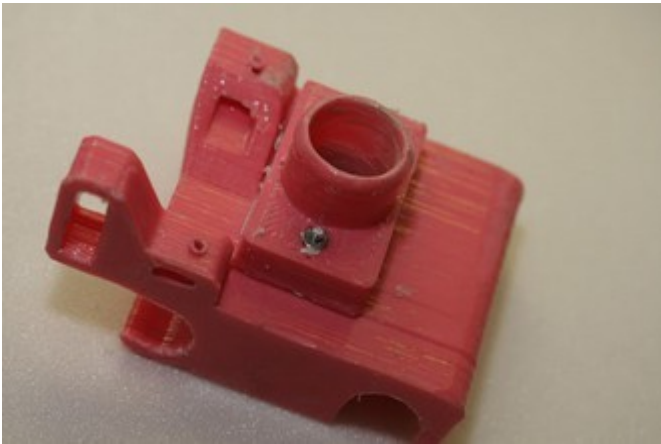
Temps de travail 7h : Dessin 3D - 2h | impression 3D 3h | usinage inox – 0 | montage 2h

changement de position de capteur électrique

retouche du passage des courroies

amélioration jonctions étanches

Agrandissement lumière de circulation d'eau chaude



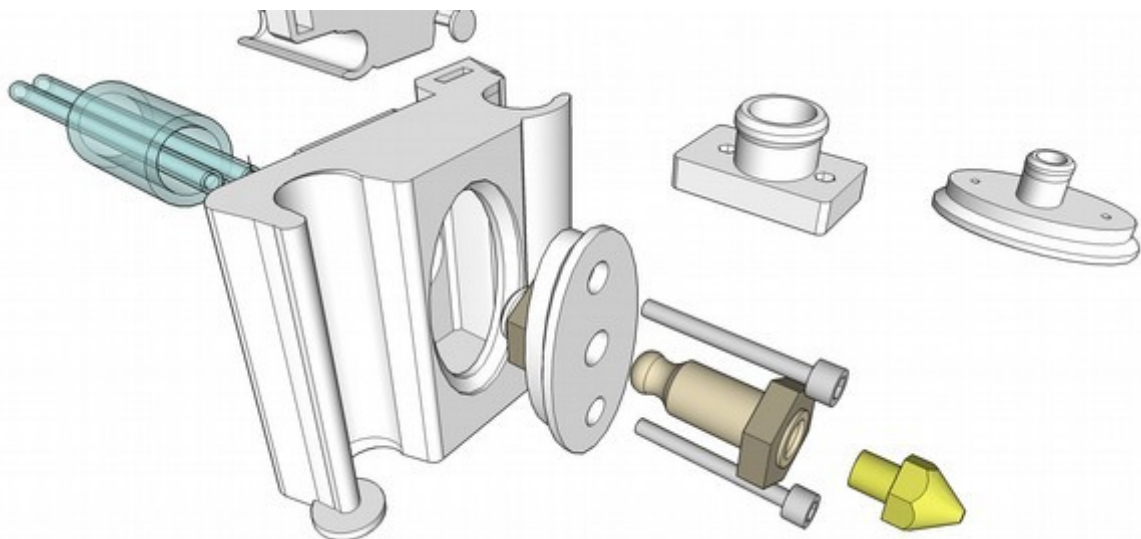
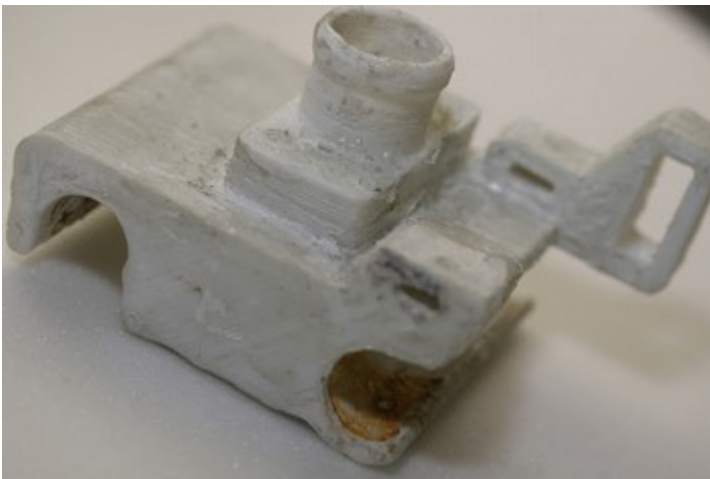
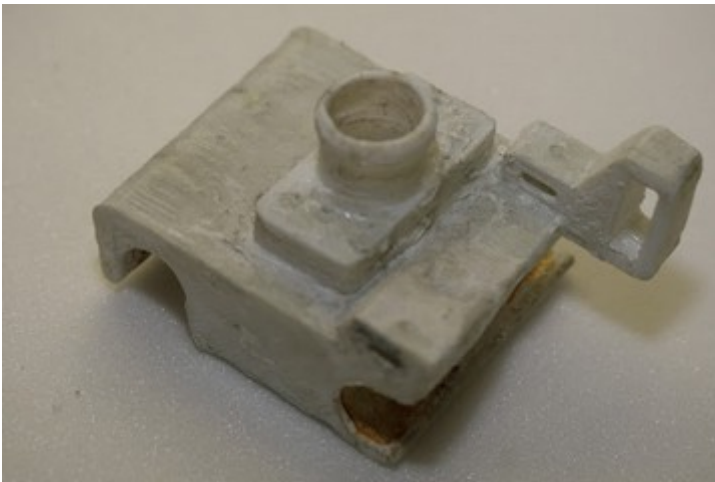
Essai 3

temps de travail 16h : dessin 3D – 1h | impression 3D – 8h | temps de montage - 7h

impression en polycarbonate et en PET pour meilleure tenue en température
modification mineures

Ces pièces se sont révélées impossibles à rendre étanches à cause de fuites dans la structure même de l'impression 3D. Ces fuites, même retouchées à la main et à chaud ne se bouchent pas dans le polycarbonate.

Conclusion : l'ABS est simple à rendre étanche et malgré sa tenue bien plus faible à la température qu'attendu,



essais 4

Temps de travail 14h : dessin 3D - 10h | temps d'impression – 3 h | montage – 1h

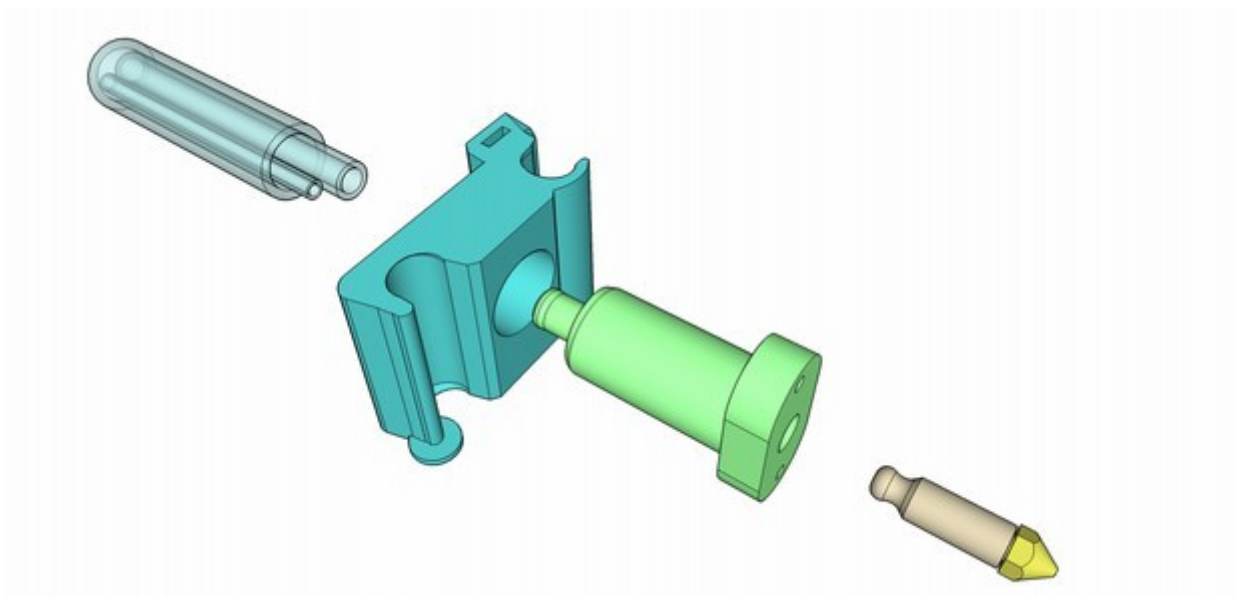
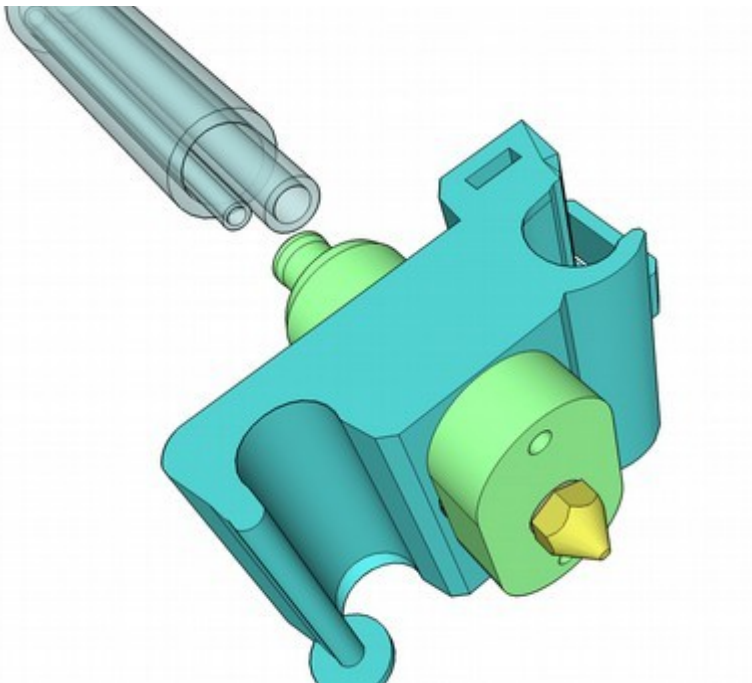
Abandon du système avec cavité. Le chariot emporte désormais les parties électrique et mécanique uniquement. Le système de circulation de l'eau est maintenant démontable.

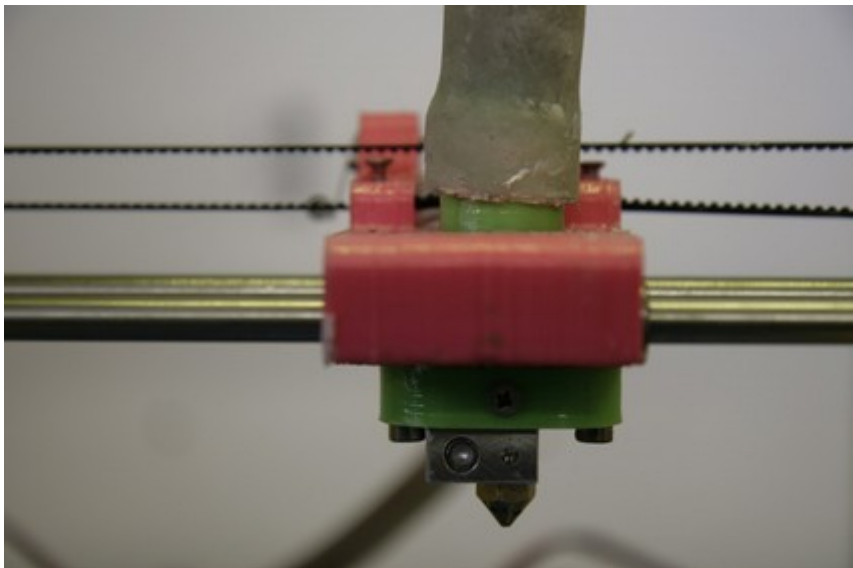
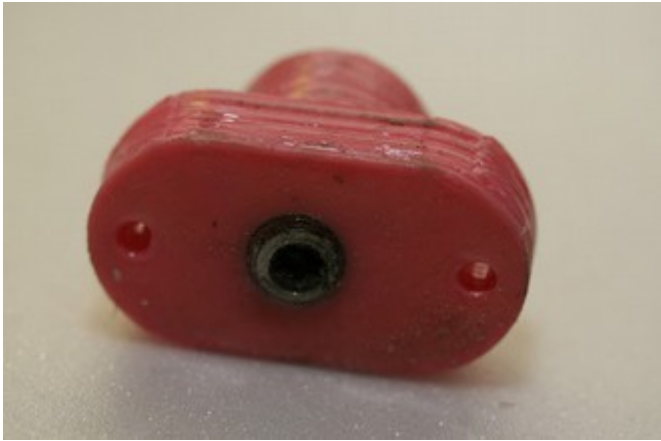
Ce changement est accompagné d'une amélioration et d'une simplification de la pièce en bout de circuit. L'étanchéité est désormais assurée uniquement à deux endroits et sur des jonctions de tuyauterie.

Le démontage du circuit d'eau est très simple.

L'autre motivation de ce changement est l'ajout d'un tuyau additionnel, uniquement utile pour le chocolat. Maintenant, le tuyau en contact avec le chocolat est démontable en quelques secondes.

L'opération de débouchage ou de nettoyage peut se faire en moins de 5 minutes et l'accès à toutes les parties est considérablement simplifié.





La boîte de raccordement

Cette pièce sert de connecteur, d'un côté les connexion vers les éléments de la machine, et de l'autre un sortie avec un tuyau unique et élégant. Dans la version finale, il comporte un connecteur pour l'entrée et la sortie de la circulation d'eau chaude et un trou de sortie du tuyau de transport du chocolat, qui relie la pompe à la buse.

Essai 1 et 2

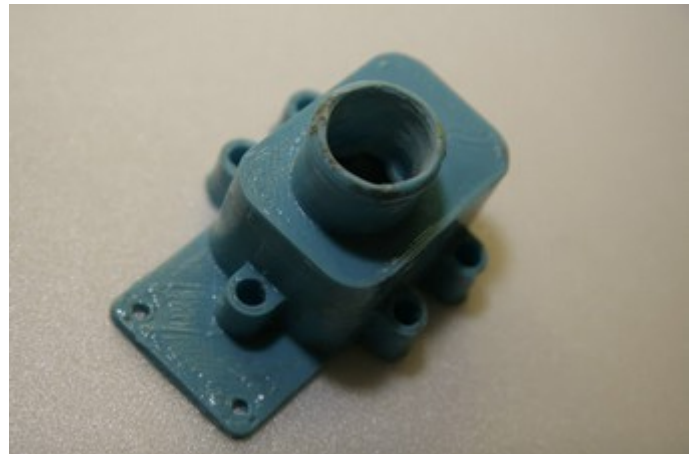
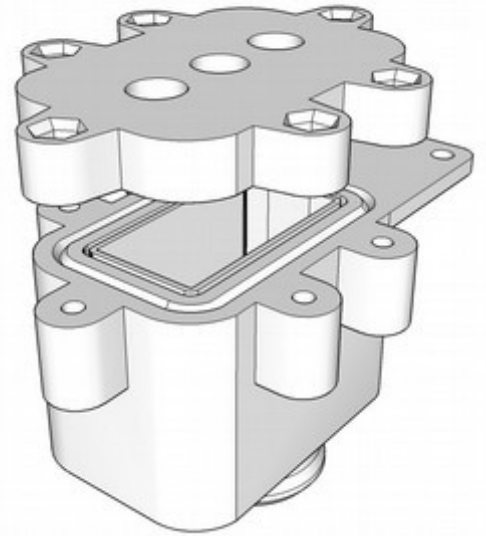
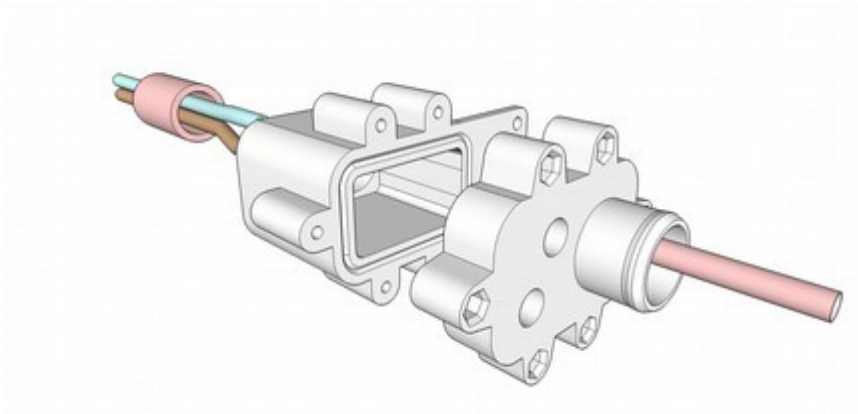
Temps de travail 9h : Dessin 3h | impression 3h | montage 3h

Variation sur la pièce de connexion

Plusieurs impressions et montage on été faits avec des modification mineures

variations sur les tailles de connecteurs

variation sur les types et position de connections



Essais 3

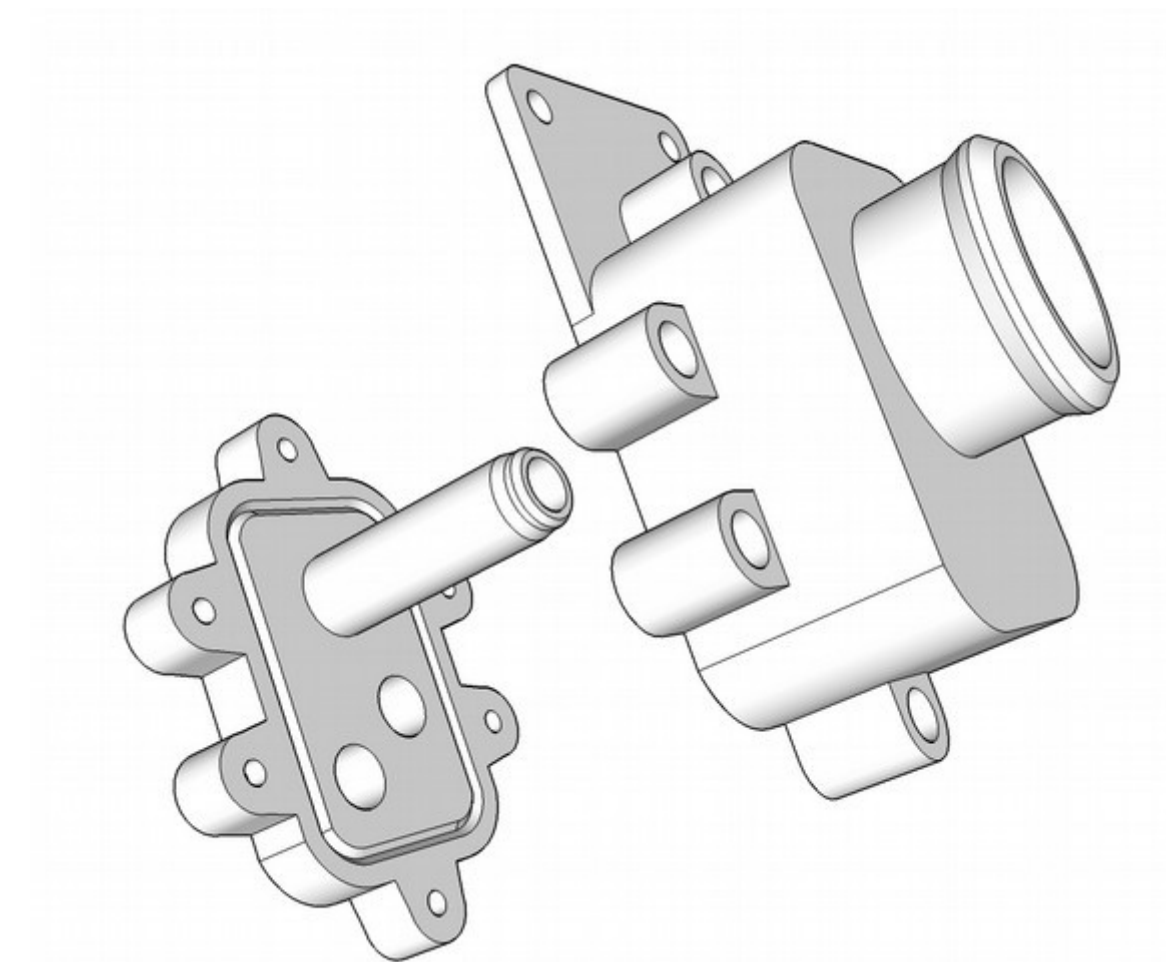
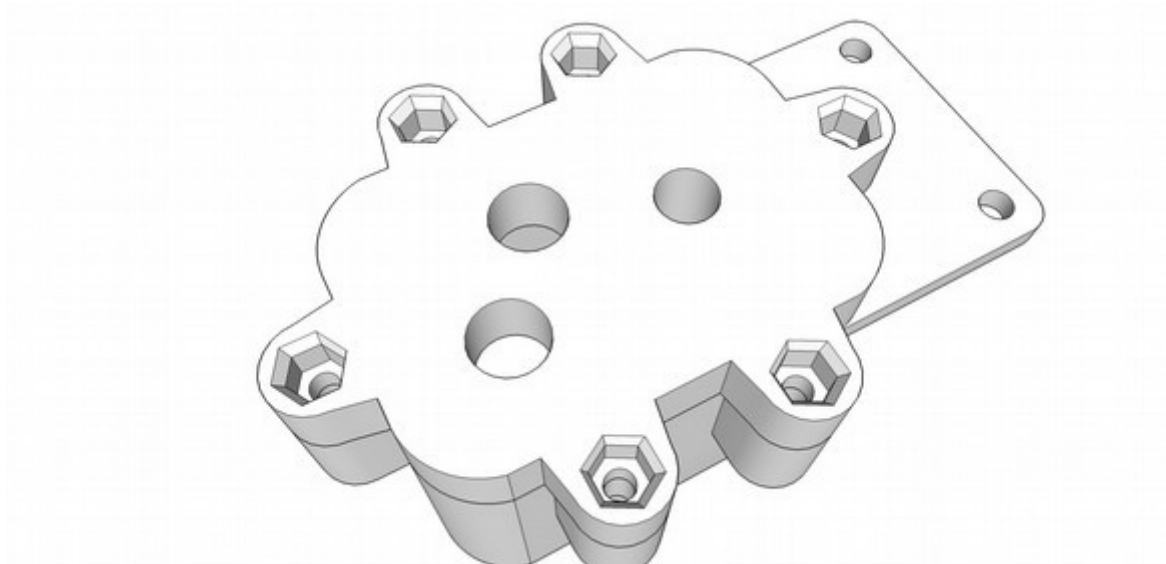
Temps de travail 8h : Dessin 3d 2h | impression 3h | montage 3h

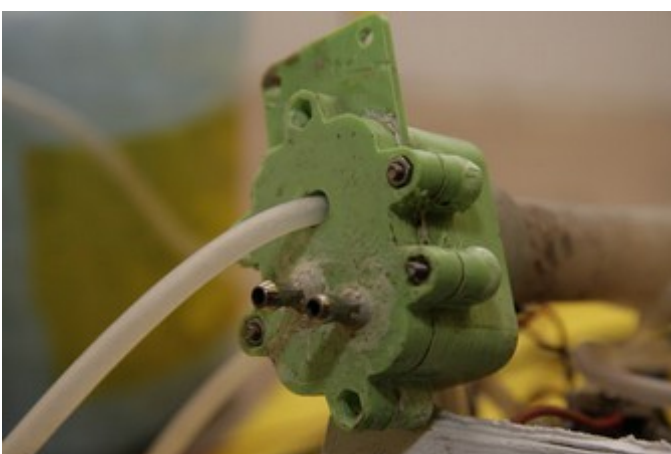
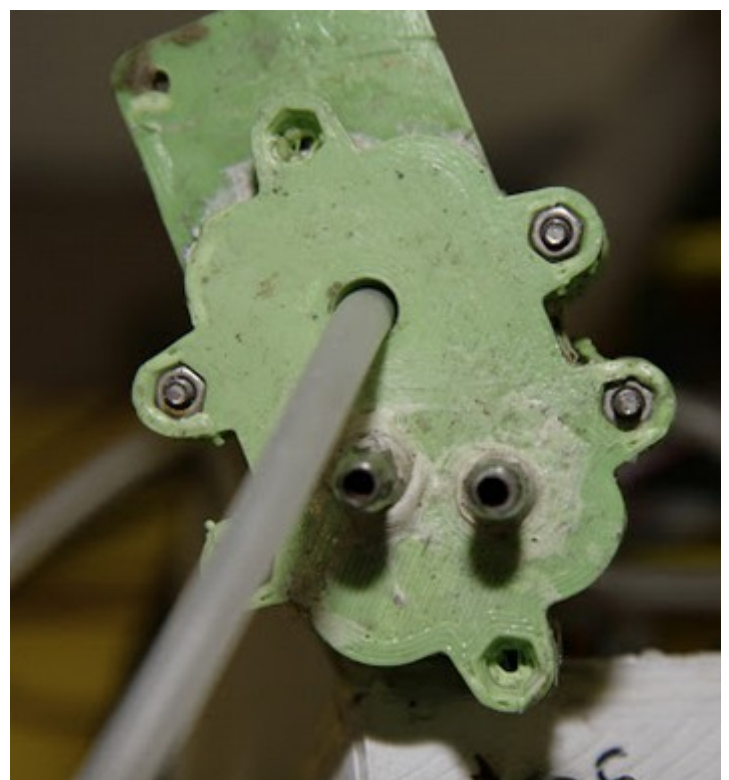
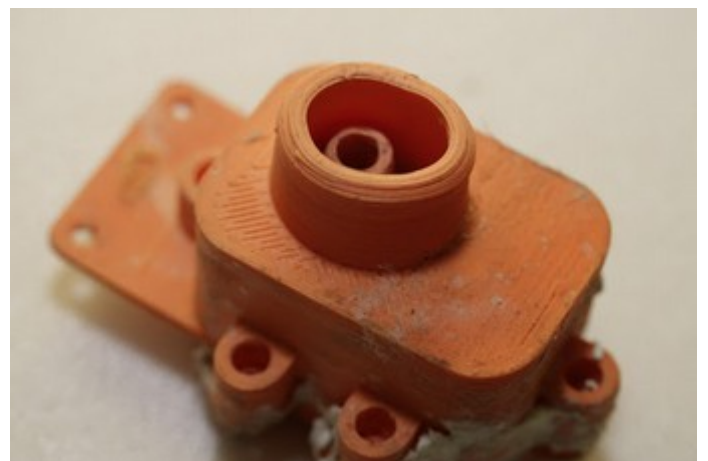
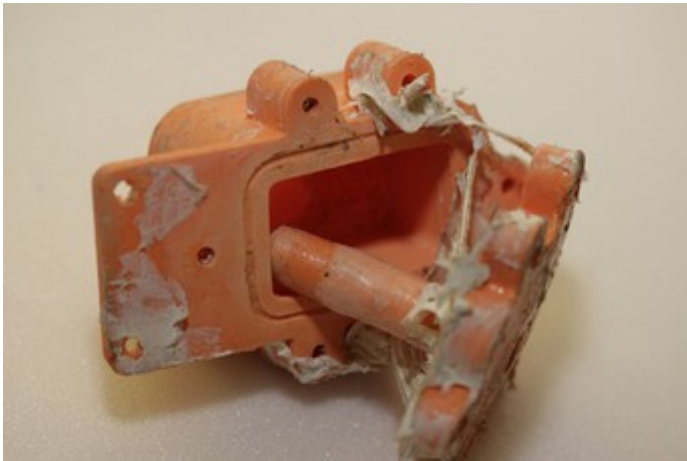
Modification pour changement d'organisation des tuyaux

Plusieurs essais de longueur de connecteur

Démontage réimpression et montage suite à destruction après surchauffe

Plusieurs essais de connecteurs (époxy – silicone – ABS direct – a chaud)





La pompe

La pompe est l'élément le plus crucial. Chaque essais de pompe à nécessité le travail de pièces en métal et des essais un peu plus long, notamment a cause du temps de chauffe du chocolat ou de l'eau.

Pour mener a bien les essais, nous avons d'abords essayé avec de l'eau puis du chocolat. La très forte viscosité du chocolat posant problème, nous avons également fait des tests avec de la cire pour valider certain points clé de fonctionnement.

Le temps de travail sur cet élément dépasse très largement le temps de conception et d'impression donnés plus bas.

J'ai choisi d'utiliser une pompe péristaltique qui offre les avantage suivant :

Dosage précis

haute pression

auto amorçante

Seul le tuyau, qui constitue le corps de pompe, est en contact avec le chocolat.

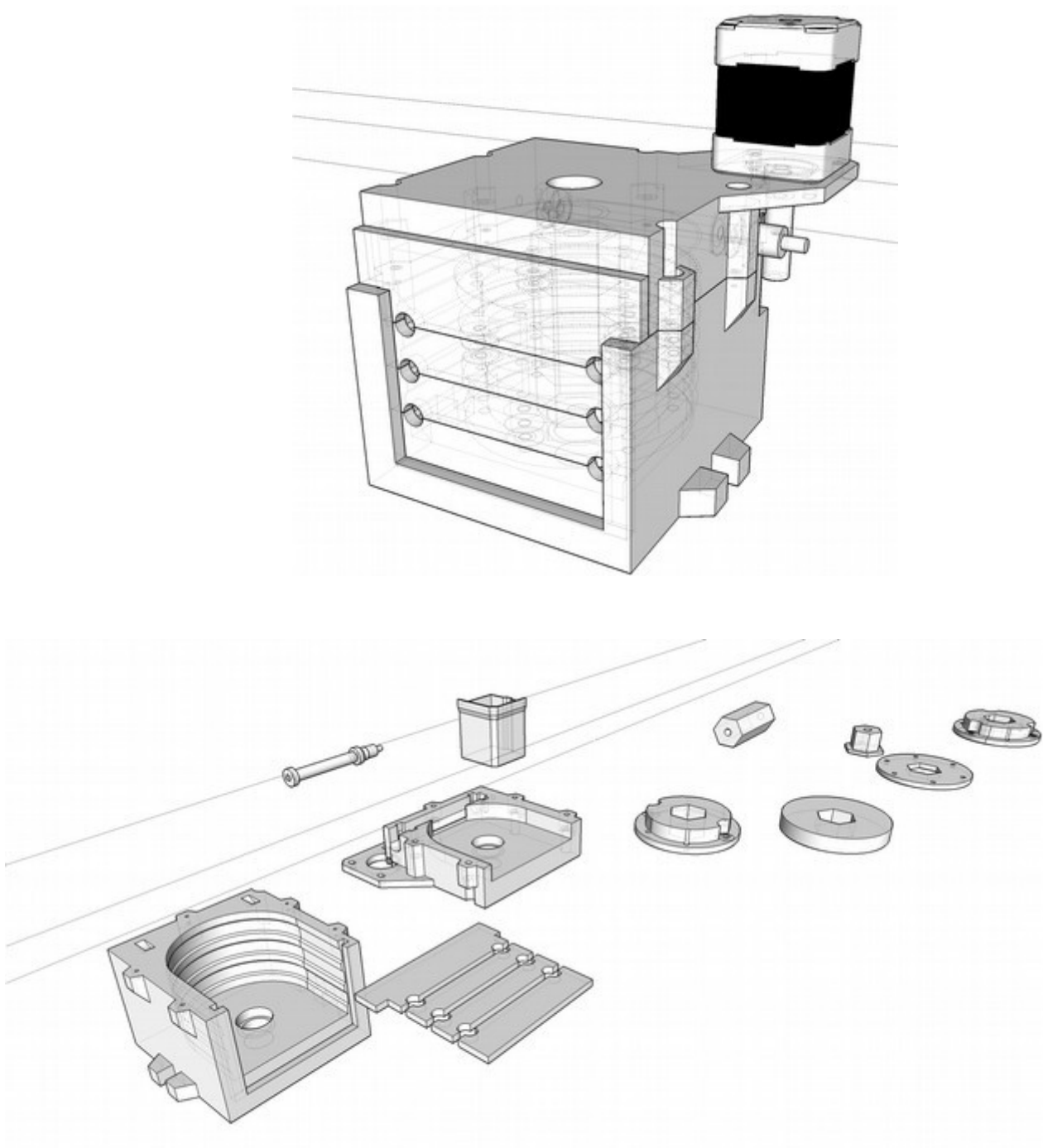
Modèle 1

temps de travail - 31 h: dessin 3D - 12h | impression 3D - 10h | usinage - 6h | temps de montage : 3h

Cette première pompe est conçue pour palier aux problèmes de linéarité des pompes péristaltique. Elle est composée d'un corps triple avec les galets déphasés de 120.

Cette pompe, très volumineuse pose un véritable problème : les trois voies en parallèles dépendent les unes des autres en termes d'étanchéité. La moindre fuite d'un des 9 galets provoque une perte complète de la pression en cas de forte demande.

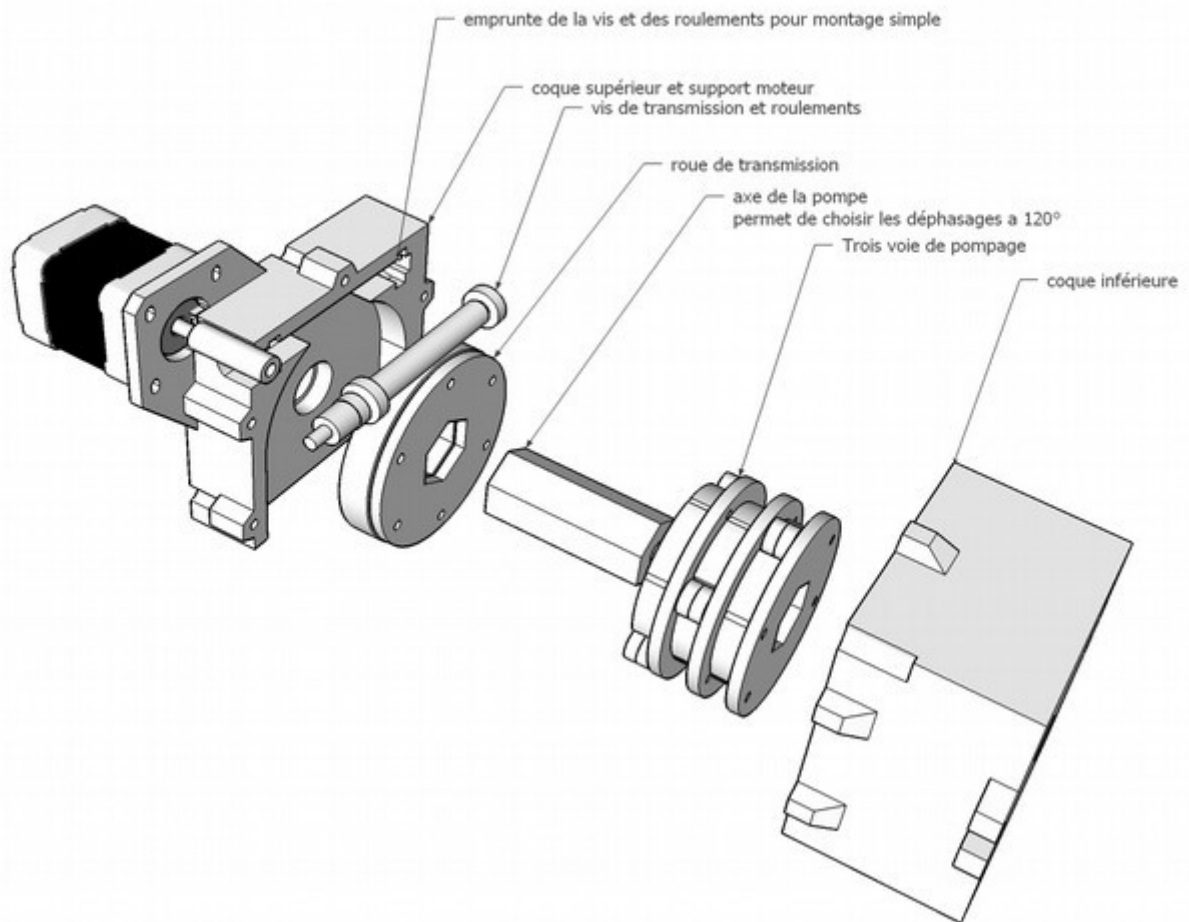
De plus, les essais on montré que la pompe devait être réchauffé car le chocolat fige rapidement et devient impossible à pomper.



Le système d'entraînement est constitué de deux vis sans fin en cascade, avec la possibilité de monter le moteur sur la première vis pour privilégier le débit, ou sur la seconde pour obtenir une très grande précision.

La pompe ayant été conçue pour être démontée rapidement et par un opérateur, le système s'assemble par un jeu de coques-contre coque contenant les empreintes des roulements de la vis de transmission.

Pour assembler, il suffit de positionner les éléments de la pompe, de déposer la vis avec ses roulements et de refermer.



La transmission par vis sans fin, utilisée pour augmenter la précision se révèle capricieuse, très difficile à mettre en place et à fabriquer.

Modèle 2

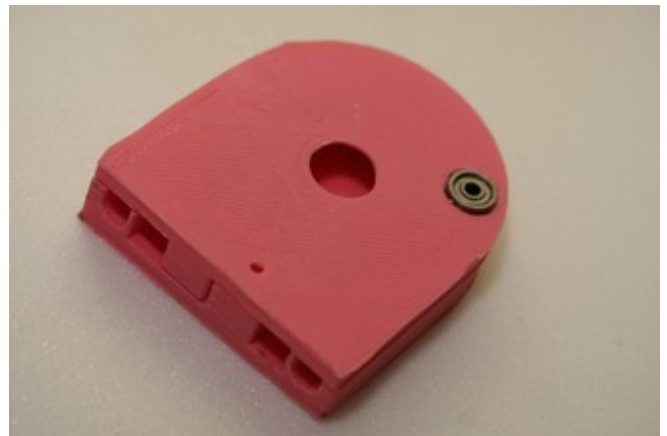
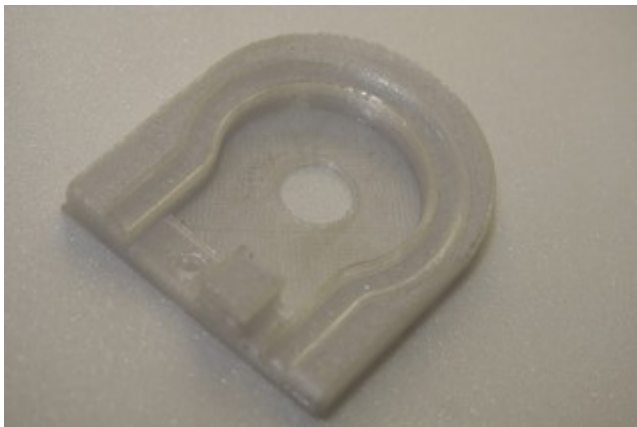
Temps de travail 95 h : dessin 3D 25h | temps d'impression 25h | montages et essais: 45h

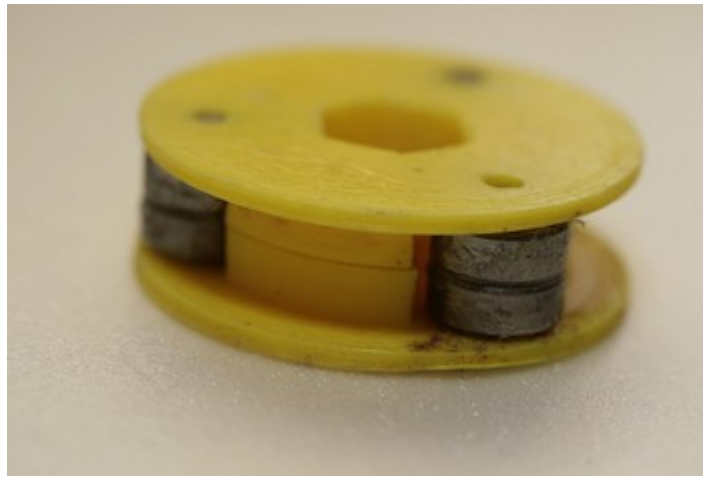
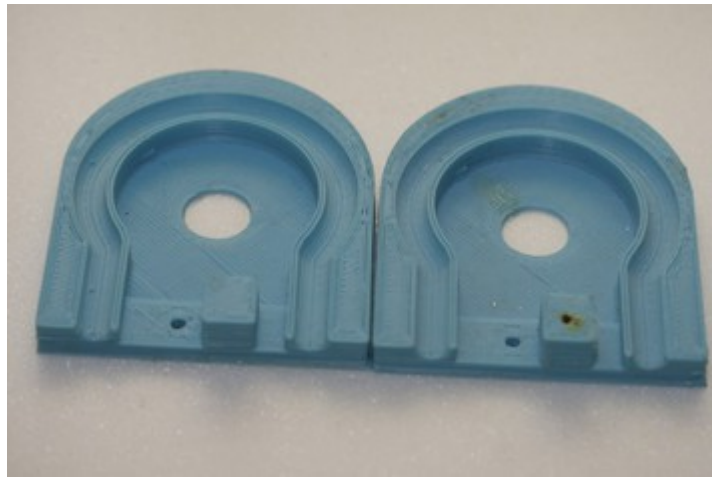
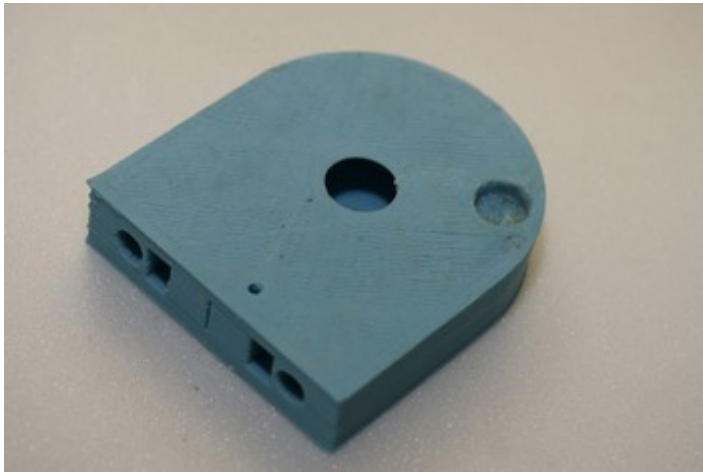
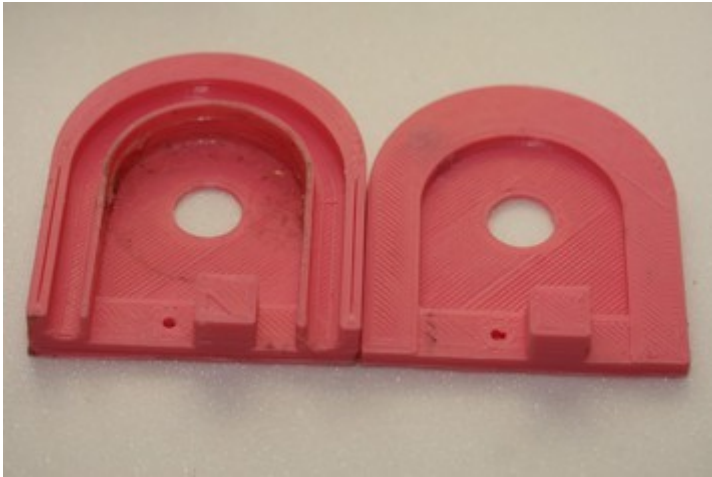
Le second modèle est entièrement repensé avec les objectifs suivants :

être simple à monter
compact
incluant un réchauffage

Il y a eu environ un dizaine d'évolutions sur ce modèle, qui ont donné lieu au dessin et à la fabrication de pièces différentes, et donc 6 à 15 heures selon la/les pièce(s).

- fabrication initiale
- évolution du corps de pompe : ajout d'un passage de tuyaux de réchauffage
- évolution du corps de pompe : rapprochement des entrées et sorties pour que les galets agissent sur 330° dans la pompe, en vue d'améliorer l'étanchéité
- évolution du corps de pompe : rapprochement du tuyau de réchauffage
- évolution générale : allongement de l'espace de pompage
- évolution du corps de pompe (stator) pour pincement des tuyaux
- évolution du rotor : suppression des petits roulements pour des 608ZZ, permettant moins de contrainte sur les tuyaux et moins de traction.
- évolution du corps de pompe : suppression du tuyau de réchauffage. La pompe sera désormais immergée dans l'eau et le pompage de l'eau chaude se fait via l'intérieur de la pompe pour avoir un pompage fiable.





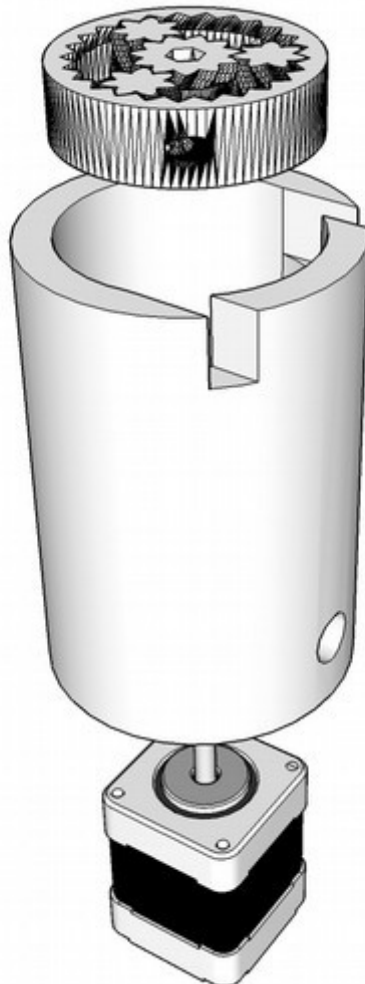
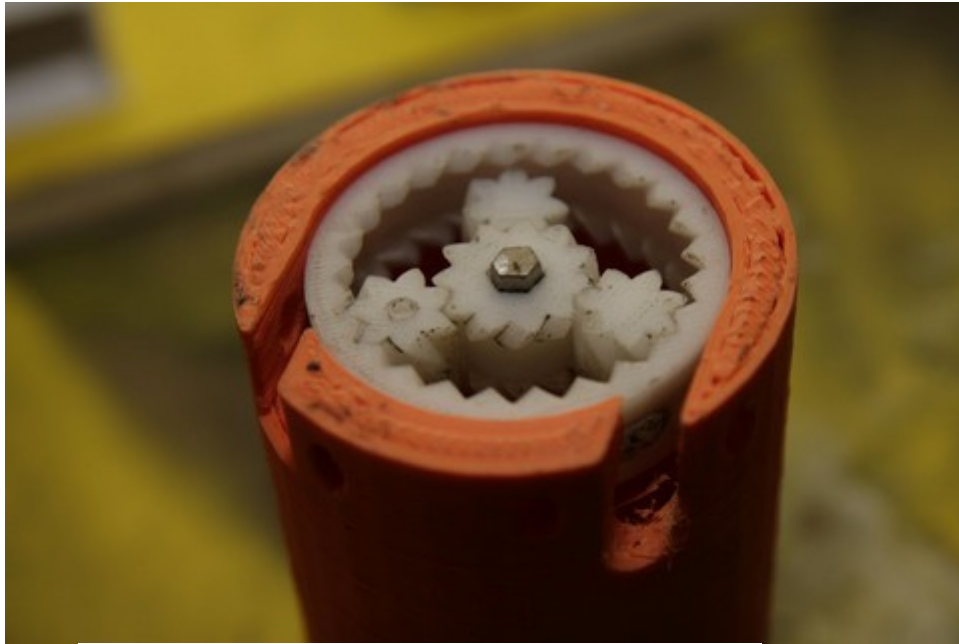
Modèle 3

Temps de travail 13h : dessin 3D 4h | impression 3h | montage 6h

Il s'agit de l'adaptation d'une pompe existante. Nous avons tout de même inventé le système d'accouplement avec le moteur.

Cette pompe présente de nombreux avantages, dont celui de ne comporter ni roulement ni axe métallique.

Elle se révélera fonctionner parfaitement avec de l'eau mais s'user rapidement avec le chocolat. Si elle est intéressante, elle n'est faisable qu'en impression 3D, donc en plastique, donc impossible pour une éventuelle étape d'industrialisation.



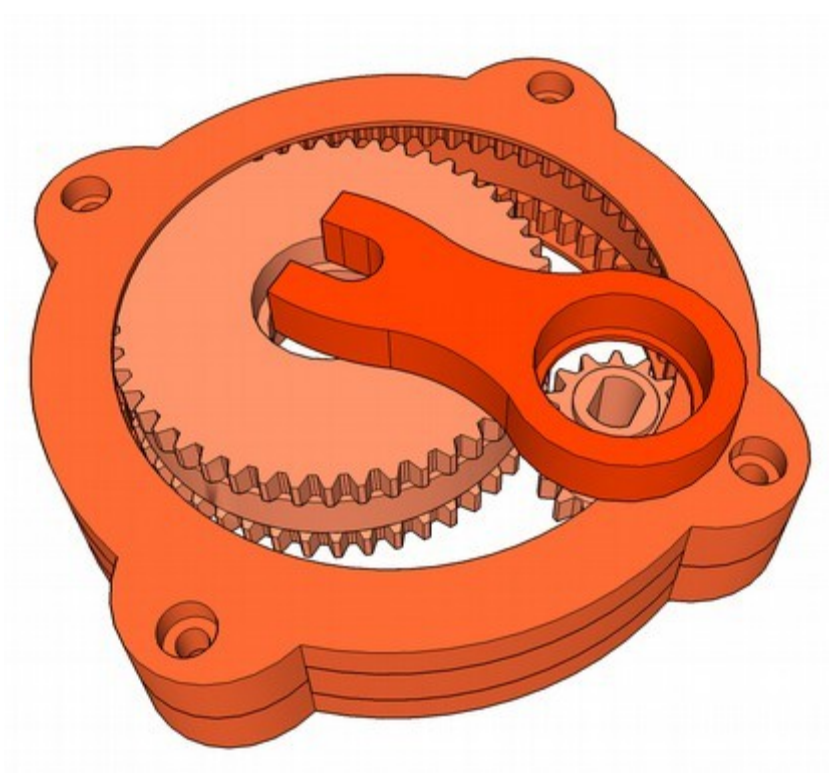
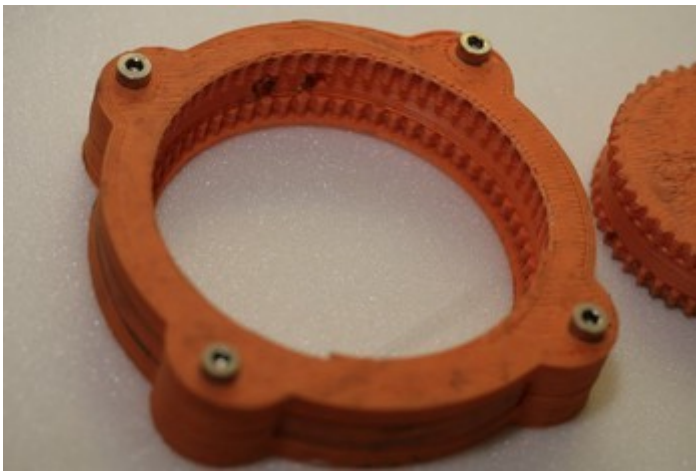
Modèle 4

Temps de travail 36h : dessin 3D 15 h | impression 9h | montage : 12 h

Ce modèle veut pallier à tout les problèmes rencontrés : déformation, manque linéarité, défaut sur les forte pression, traction sur le tuyaux, fort couple moteur demandé, manque de réglage.

Dans cette pompe, la partie qui écrase le tuyau « roule » dessus, ce qui elimine les sources de frottement tuyaux/galet. On réduis ainsi l'usure, les pertes par frottement et les cas de pannes dû au déplacement non voulu du tuyau.

Ce modèle d'essais préliminaire n'a pas fonctionné pour des raisons simples et reste le concept le plus prometteur. **Deux autres modèles sont a l'étude et font partie des restes a financer.**

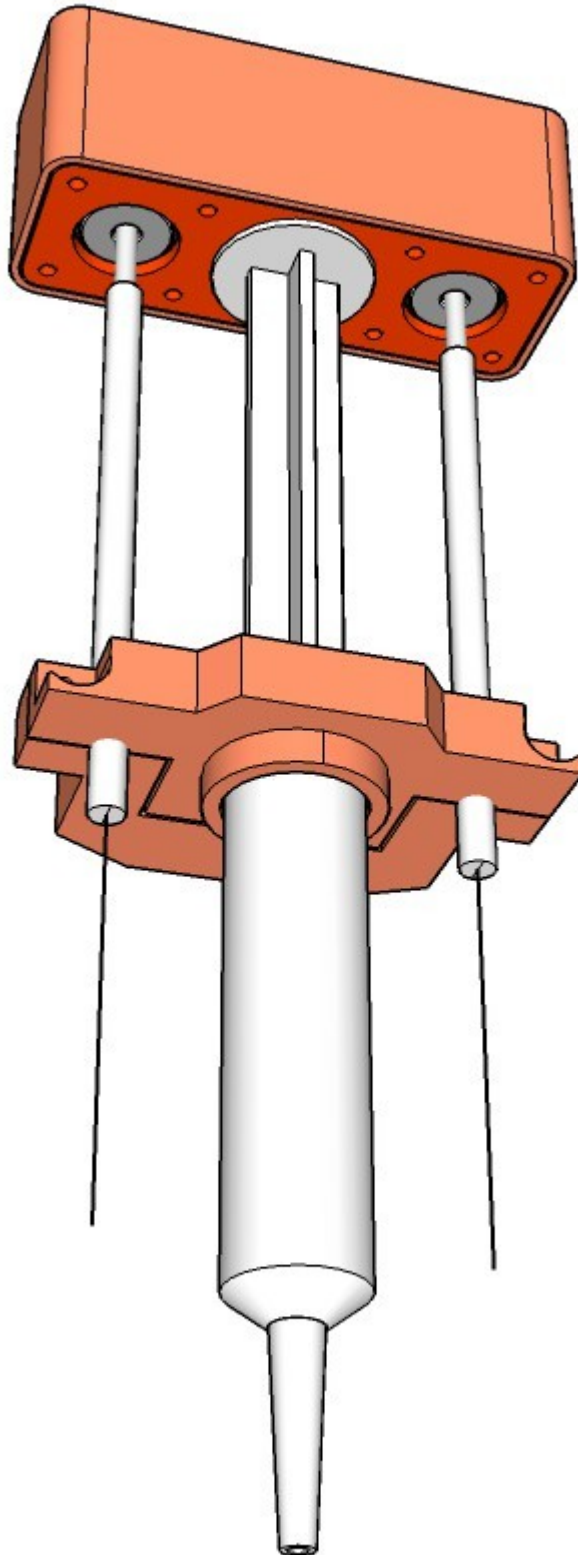


Modèle 5

Temps de travail 13h: dessin 3D 4h | impression 6h | montage 3h

Modèle d'essais à seringue.

Ce modèle n'a pour but que de permettre de tester rapidement tout le reste de la machine.



Problèmes restants

La pression

Le transport du chocolat requiert une grande pression de fonctionnement, heureusement a débit faible. La plupart des pompes ont été testé avec succès sur de l'eau mais n'ont jamais donné satisfaction avec le chocolat.

Dans le cadre d'une poursuite des recherches, nous avons plusieurs propositions concernant les pompes et le process.

La linéarité du pompage

Pour une machine industrialisable, la pompe devra être parfaitement linéaire, car la moindre pulsation se verra sur l'impression 3D réalisée. Un très gros effort sera a fournir sur ce point, qui constituera l'étape finale de la conception de la machine. **Nous tenons a attirer l'attention sur le fait que le solutionnement de ce problème constitue sûrement autant de travail que tout ce qui aura été avant sur l'intégralité de la machine.**

Conclusion et recommandations