

Compte-rendu Projet Fab

—
Combès Guilhem
Mosnier Aurélien
Tridant Colin
Rousseau Jeremy

SOMMAIRE

I. Introduction

II. Fonderie

III. Usinage

IV. Métrologie

V. Conclusion

I. Introduction

Dans le cadre de ce projet de fabrication en équipe de quatre, nous avons été amenés à explorer concrètement les liens entre le **procédé de fabrication**, la **fonctionnalité de la pièce** et les exigences liées à une production en série. L'objectif était de nous mettre en situation réelle, comme si nous travaillions dans un bureau d'études, avec des contraintes techniques à respecter et des décisions à justifier.

Notre mission portait sur la réalisation d'un **corps de pompe**, un composant central permettant de créer un flux de fluide dans un circuit hydraulique. Cette pièce, à la fois technique et fonctionnelle, nous a obligés à anticiper l'ensemble des étapes de sa fabrication.

Le projet s'est déroulé selon plusieurs grandes étapes :

- **Avant-projet** : nous avons étudié en détail le plan de définition et les cotations GPS, afin de comprendre les contraintes dimensionnelles, géométriques et fonctionnelles à respecter.
- **Fonderie** : Réalisation d'une pièce prête à être usiné.
- **Fabrication** : nous avons usiné la pièce en deux temps, d'abord manuellement pour comprendre les gestes de base, puis sur machines à commande numérique.
- **Contrôle métrologique** : la pièce a ensuite été contrôlée dans le laboratoire dédié, où nous avons vérifié les dimensions et les tolérances avec les instruments adaptés.
- **Présentation orale** : enfin, nous avons synthétisé nos choix, résultats et retours d'expérience lors d'un oral structuré.

Ce travail nous a permis de développer une **vision globale de la chaîne de fabrication**, depuis la conception jusqu'au contrôle qualité, en intégrant les exigences industrielles de précision, de reproductibilité et d'organisation.

II. Fonderie

La première partie de ce projet consiste donc à la création du brut de fonderie de notre pièce. Nous commençons par définir les surépaisseurs d'usinage et de retrait volumique, le plan de joint, les dépouilles, le noyau et le canal de coulée nécessaires pour obtenir un brut qui convient pour les prochaines étapes d'usinage. Le dessin est donné ci-dessous, avec les surépaisseurs et le plan de joint en rouge, le noyau et les dépouilles étant en vert. Le canal de coulée est également représenté en vert. Le choix du sens de coulée est expliqué après la figure.

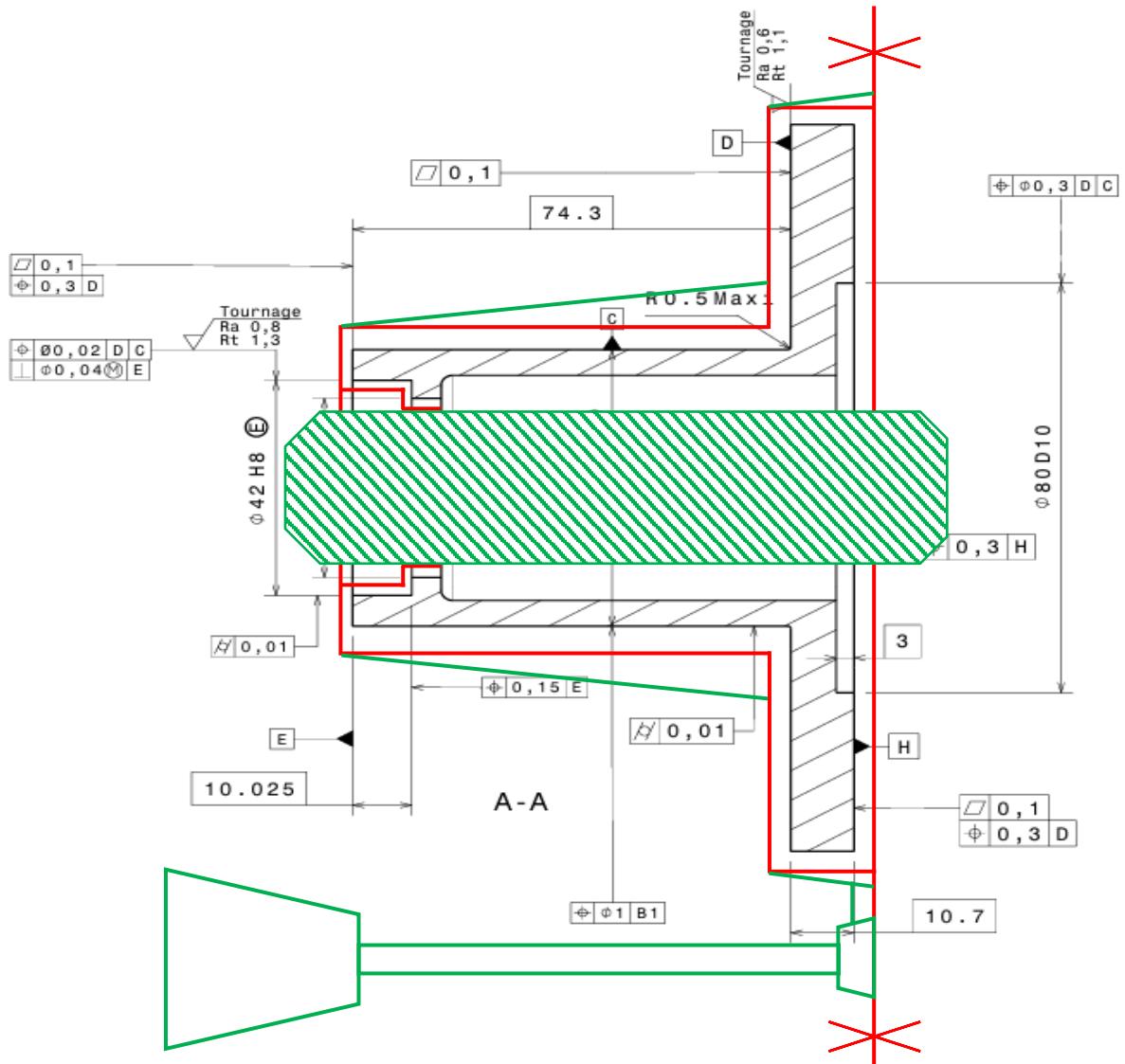


Figure 1 : schéma du brut de fonderie

Le plan de joint est placé horizontalement car c'est la zone la plus simple à séparer : elle ne présente pas de contre-dépouille et suit la forme naturelle de la pièce. Il passe par les zones larges, ce qui facilite le moulage et le démoulage. Ce choix permet aussi de maintenir correctement le noyau central, tout en assurant une bonne évacuation de l'air vers le haut pendant la coulée.

Nous avons choisi ce sens de coulée pour plusieurs raisons essentielles. Si le métal avait été introduit par le haut, l'aluminium en fusion serait tombé directement au fond du moule, ce qui aurait pu endommager le moule de sable par l'impact, augmentant ainsi le risque de défauts dans la pièce.

En coulant par le bas, on favorise également une évacuation progressive de l'air, notamment grâce à une perméabilité maîtrisée du sable (non trop tassé), ce qui limite la formation de porosités ou de soufflures. Ce choix permet en outre d'obtenir une solidification dirigée : le bas du moule, rempli en premier, reste

chaud plus longtemps et se solidifie en dernier, assurant une alimentation continue des zones supérieures jusqu'à la fin du remplissage.

Enfin, en fonderie, il est crucial que les zones les plus massives se solidifient en dernier pour éviter les retassures liées au retrait de volume. Le sens choisi garantit justement ce refroidissement progressif et optimal.

On obtient donc cette pièce de fonderie :



Figure 2 : brut obtenu

III. Usinage

Le brut de fonderie ne possède pas de surfaces fonctionnelles. Il faut donc usiner celles qui doivent être fonctionnelles. Les deux phases d'usinage sont réalisées au tour, en conséquence de la géométrie et des symétries de la pièce à usiner.

1. Usinage conventionnel – Phase 100

La première phase d'usinage (phase 100) est une phase d'usinage conventionnel. L'objectif est d'usiner les surfaces accessibles en fixant la pièce par une extrémité au mandrin : dresser la surface qui servira de référence pour l'usinage à commande numérique, pour lequel la pièce sera fixée au mandrin par l'autre extrémité, ainsi que charioter et dresser les autres surfaces accessibles.



Figure 3 : outils pour l'usinage conventionnel

Gamme de fabrication de la phase 100 :

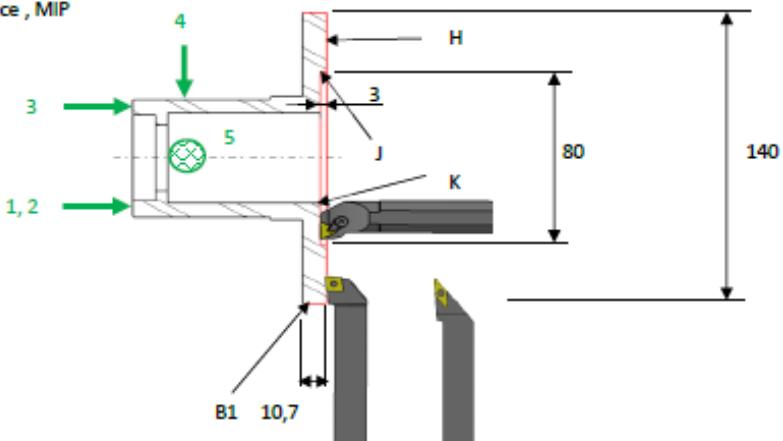
PHASE n°100

Ensemble: Pompe
Pièce: Corps de pompe
Matière: Al Si 13

Bureau des méthodes
Arts et Métiers
Sciences et Technologies

Machine - Outil: Tour conventionnel, outil à dresser/charioter, barre à aléser

Pièce , MIP



Désignation des opérations en 2D (usinage en trait rouge)	Outils réf, vue 3D/photo	Vc en m / min	f en mm / tr / dt	N en tr / min	Vf en mm / min
Ebauche et finition de B1	ref: Outil d'ébauche extérieur PCLNL 2525M 12 avec plaque CNMG 12 04 08-PM 4335 	210	0,3	710	213
Ebauche et finition de H Alésage ébauche et finition de J	idem Outil à aléser ébauche et finition S20S-PCLNL 09 avec plaque CNMG 09 03 04-PF 4325 	210 425	0,3 0,14	710 1400	213 196
Alésage ébauche et finition de K	idem	425	0,14	1400	196
Ébavurage	plaquette à chanfreiner à 45° outil en acier rapide	425	manuel	1400 180	

2. Machine à commande numérique –

Phase 200

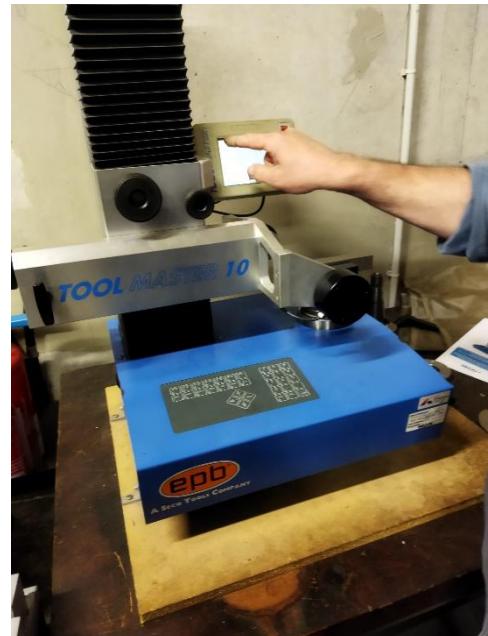
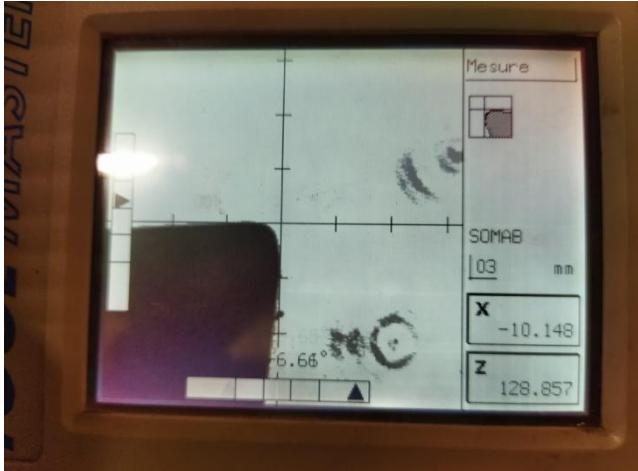
La seconde phase d'usinage est réalisée au tour à commande numérique, avec pour référence une surface déjà usinée au tournage conventionnel. Les surfaces fonctionnelles qui ne sont pas encore usinées sont dressées ou chariotées lors de cette étape.

La fixation des mors sur le mandrin nécessite patience et précision, afin que la pièce soit bien centrée.



Figure 4 : fixation des mors sur le mandrin

Il est nécessaire de mesurer précisément les outils pour donner les cotes à la machine à commande numérique.



Figures 5 et 6 : mesure des outils



Figure 7 : programmation des cotes dans le tour CN

Gamme de fabrication de la phase 200 :

PHASE n°200

Ensemble: Pompe

Pièce: Corps de pompe

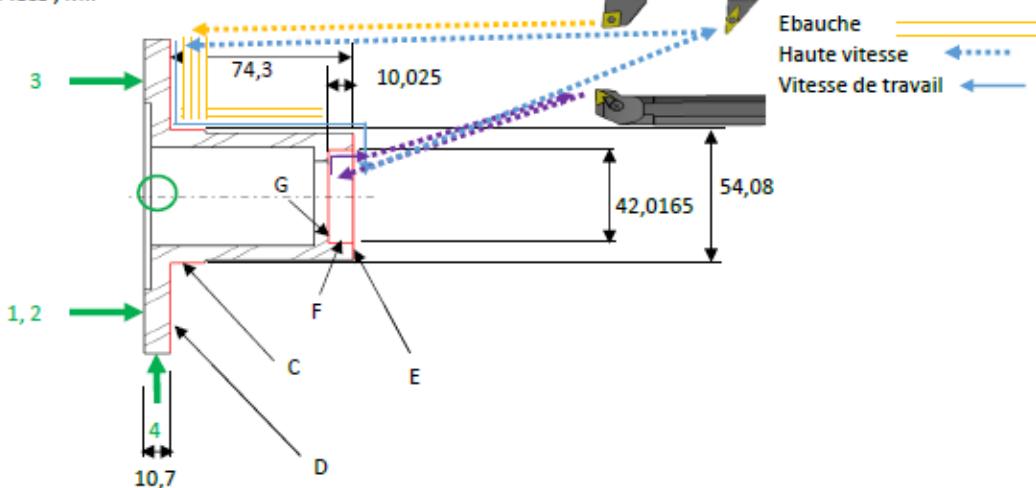
Matière: Al Si 13

Bureau des méthodes



Machine - Outils : Tour CN SOMAB, outil à dresser/charioter, barre à aléser

Pièce , MIP



Désignation des opérations en 2D (usinage en trait rouge)	Outils réf, vue 3D/photo	Vc en m / min	f en mm / tr / dt	N en tr / min	Vf en mm / min
Ebauche et finition de C et D	ref: Outil d'ébauche extérieur PCLNL 2525M 12 avec plaque CNMG 12 04 08-PM 4335 	210	0,3	1238,5	371,55
Ebauche et finition de E Alésage ébauche et finition de F et G	idem Outil à aléser ébauche et finition S20S-PCLNL 09 avec plaque CNMG 09 03 04-PF 4325 	210 425	0,3 0,14	1238,5 3222	371,55 451,08

IV. Métrologie

Notre corps de pompe est désormais entièrement usiné. Il est essentiel de procéder à un contrôle de la pièce pour s'assurer que notre pièce est conforme au plan de définition. Nous allons donc vérifier la conformité de notre pièce à XX tolérances grâce à une machine à mesurer tri-dimensionnelle.



Figure 8 : Calibrage de la machine à mesurer tri-dimensionnelle

Cette machine relève des points dont les coordonnées sont le centre de la boule rouge au bout du capteur (visible sur la figure 8) et affiche un nuage de points. Nous rentrons dans le logiciel associé la tolérance que nous voulons évaluer.

La première étape à effectuer est le calibrage de la machine. Le professeur en charge de ce TP a effectué ce calibrage, il est donc inutile de le refaire.

Nous commençons par créer un plan de référence dans le logiciel en mesurant plus que 3 points pour ne pas avoir un plan parfait. L'objectif de ce TP de métrologie est de relever 6 critères (parmi les critères de position, de forme, d'orientation et de dimension) représentés sur le plan côté du corps de pompe. Nous relevons donc les points nécessaires à la création des surfaces qui servent à évaluer ces critères. Ces surfaces sont représentées à la figure 9 ci-dessous.

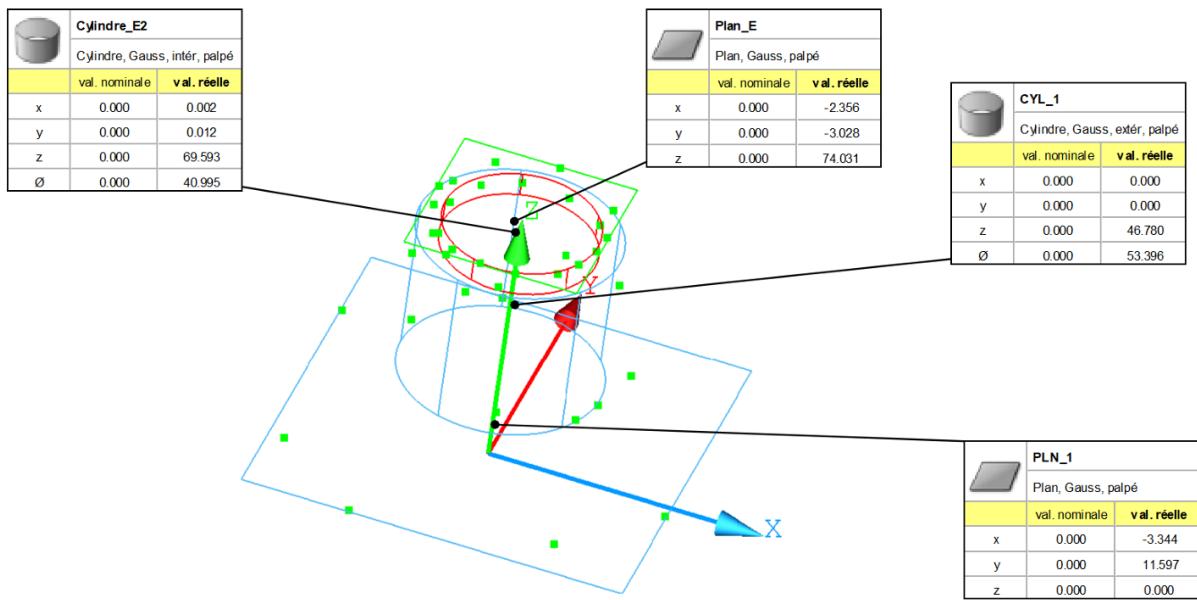


Figure 9 : Surfaces de référence

Nous mesurons ensuite les tolérances suivantes : position (localisation), forme (cylindricité et planéité), orientation (perpendicularité) et enfin dimension (diamètre et distance point-plan). Nous regroupons les données mesurées dans le tableau en figure 10. Chaque valeur est en millimètre et lorsque la case est surlignée en rouge, cela signifie que la valeur mesurée dépasse la tolérance maximale indiquée par le plan.

Tolérance	Valeur nominale	Valeur réelle
Localisation	0,000 ; 0,000 ; 0,000	0,437 ; -0,040 ; 0,208
Cylindricité	0,000	0,005
Dimension (diamètre)	42,000	40,995
Distance	74,300	74,029
Perpendicularité	0,000	0,030
Planéité	0,000	0,022

Figure 10 : Tableau des tolérances mesurées

On remarque que la moitié des critères mesurés ne rencontrent pas les exigences du plan.

Nous mesurons maintenant la rugosité du plan D sur le plan en figure XX (appelé PLN_1 en figure 9). Nous mesurons le Ra, la rugosité moyenne arithmétique que l'on calcule en mesurant les écarts du profil de surface par rapport à la ligne moyenne sur toute la longueur d'échantillonnage et le Rt, la hauteur totale du profil de rugosité que l'on calcule en prenant la différence entre le pic le plus haut et la vallée la plus profonde sur une longueur d'échantillonnage. Pour plus de clarté ces paramètres sont définis en figure 11 ci-dessous.

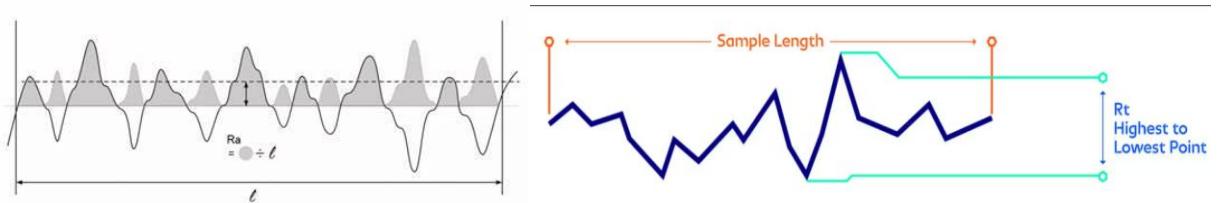


Figure 11 : Schéma représentant Ra (gauche) et Rt (droite)

On effectue 3 passes pour éviter des résultats aberrants (les valeurs sont en micromètres) :

- $R_a=2,899$; $R_t=25,328$
- $R_a=3,318$; $R_t=21,730$
- $R_a=3,409$; $R_t=25,186$

On remarque que pour le Ra et pour le Rt, 2 valeurs sont très proches et une valeur est plus éloignée des 2 autres. On retient donc ces valeurs.

Analysons désormais ces résultats. Il y a donc 3 tolérances qui ne sont pas respectées.

Pour la première non respectée, il s'agit d'une tolérance de localisation. Elle correspond à la localisation de l'axe du cylindre principal par rapport aux surfaces planes D et C. Ce non-respect est dû au processus de fonderie et notamment à la confection du moule. Plus précisément, cela peut venir d'un tassage du sable mal réalisé. Il faut aussi prendre en compte que le sable est réutilisé à chaque fois donc il devient moins performant avec le temps.

Nous avons ensuite voulu vérifier si la dimension du cylindre et l'écart entre les plans D et E étaient bien compris dans leurs zones de tolérance respective. Comme dit précédemment, l'usinage a été réalisé avec des machines conventionnelles et à commande numérique. Cependant les surfaces impliquées ont été usinées avec une machine conventionnelle. Il est donc très probable que ces défauts viennent de notre manque de précision ainsi que celui du pied à coulisse (précision au millimètre). De plus, l'aluminium étant lui aussi recyclé, il est courant que des grains de sable s'incrustent dans le métal et gênent l'usinage.

Nous avons aussi eu le temps de vérifier la tolérance de rugosité qui était donné sur le plan. Il nous fallait un Ra de $0.8 \mu\text{m}$ et un Rt de $1.3 \mu\text{m}$. Nous avons obtenu des valeurs moyennes de Ra et Rt de $3.21 \mu\text{m}$ et $24.08 \mu\text{m}$. Il y a une différence assez élevée, cependant, les causes ont été explicitées. Les grains de sable incrustés dans l'aluminium faussent grandement les mesures de la machine.

V. Conclusion

Les non-conformités observées sont principalement dues à la qualité variable des matériaux recyclés (sable et aluminium), à nos compétences en usinage conventionnel (et numérique), et au manque de précision des instruments de mesure. Pour améliorer les résultats, il faudrait optimiser le processus de moulage en utilisant un aluminium et un sable de très bonne qualité ainsi qu'un procédé de création de moule plus précis, ceci permettant d'obtenir un brut de meilleure qualité. Nous pouvons également employer des machines plus précises pour usiner la pièce, soit en améliorant nos compétences en usinage, soit pour être encore plus précis effectuer toute les phases d'usinage sur des machines numériques. Enfin, le dernier point d'amélioration possible serait l'utilisation d'appareils de mesures plus précis qu'un simple pied à coulisse pour contrôler les côtes de la pièce pendant la phase d'usinage conventionnel.



Contact

—
colin.tridant@ensam.eu

aurelien.mosnier@ensam.eu

jeremy.rousseau@ensam.eu

guilhem.combes@ensam.eu