

**PARENT Aldric**  
**1<sup>ère</sup> année ICM**

---

**ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE SAINT- ÉTIENNE**  
**158 Cours Fauriel 42023 Saint-Étienne cedex 2**

---



# TURBOTECH

---

## **Rapport de stage** **Opérateur**

Du 02 au 27 janvier 2023

**Entreprise d'accueil : *TURBOTECH***

Adresse : Bâtiment 209, Aéroport de Toussus-Le-Noble, 78117 Toussus-Le-Noble

---

**Tuteur Entreprise :** Mme. Camille MANSIAUX, Ingénieur Production

---

**Encadrement pédagogique :** Mme Joséphine Drapier, responsable stages et M. Laurent Perier-Camby, responsable pôle professionnalisation

## REMERCIEMENTS

Pour commencer, je tiens à remercier tout particulièrement ma tutrice de stage, Mme Camille Mansiaux pour son encadrement, sa disponibilité et la qualité des connaissances transmises. J'ai apprécié pouvoir discuter avec elle de son expérience, du fonctionnement de l'entreprise, du monde de l'aéronautique actuel et de sa vision du métier d'ingénieur.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à Mr Damien Fauvet, Président Directeur Général de la société Turbotech.

Je voudrais de même exprimer ma reconnaissance à Mr Cyril Jaunet pour l'accompagnement, à Mr Benjamin Magdelaine pour sa bonne humeur et Mr Baptiste Guerin pour ses précieux conseils. C'était un plaisir de travailler avec vous !

Enfin je souhaiterais remercier toute l'équipe de Turbotech, pour le temps qu'ils ont su m'accorder et la confiance qu'ils m'ont donné tout au long de mon stage.

## TABLE DES MATIERES

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>REMERCIEMENTS .....</b>                                      | <b>2</b>  |
| <b>TABLE DES MATIERES .....</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>I-INTRODUCTION.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| Présentation de l'entreprise .....                              | 4         |
| Présentation du stage .....                                     | 5         |
| Plan du rapport.....                                            | 5         |
| <b>II-Analyse du fonctionnement de l'entreprise .....</b>       | <b>6</b>  |
| Les produits développés .....                                   | 6         |
| La gestion de l'approvisionnement .....                         | 7         |
| L'organisation de la société.....                               | 7         |
| Le modèle économique de l'entreprise .....                      | 8         |
| Contexte et enjeux de l'entreprise .....                        | 9         |
| Développement durable .....                                     | 9         |
| <b>III-Travail et tâches effectués .....</b>                    | <b>10</b> |
| Montage /Démontage des turbomachines.....                       | 10        |
| Réalisations d'Instructions de Travail (IT).....                | 12        |
| Conception d'une nouvelle caisse de transport .....             | 13        |
| <b>IV-Vision de l'entreprise et du métier d'ingénieur .....</b> | <b>14</b> |
| Vision de l'entreprise.....                                     | 14        |
| Vision du métier d'ingénieur.....                               | 15        |
| <b>V-Conclusion du stage .....</b>                              | <b>16</b> |
| <b>Annexes 1 : Figures.....</b>                                 | <b>17</b> |
| <b>Annexe 2 : Glossaire .....</b>                               | <b>18</b> |

## I-INTRODUCTION

### Présentation de l'entreprise

Turbotech est une entreprise française fondée en 2017 par quatre experts en turbosoufflantes pour l'aviation commerciale. Elle est localisée sur le site de l'aéroport de Toussus-Le-Noble en région Parisienne. Son objectif est de concevoir, produire et commercialiser des solutions de propulsion aéronautique de haute technologie pour l'aviation légère. L'entreprise souhaite se positionner en tant que leader dans ce secteur grâce à une technologie innovante et unique : la turbine régénérative. Aujourd'hui, la motorisation des avions légers est principalement assurée par des moteurs à pistons or il existe une alternative à ces derniers appelée turbopropulseur. Cette technologie est plus fiable que le moteur à piston et présente les avantages suivants :

- La durée de vie d'une turbine (3000h) est deux fois plus grande que celle d'un moteur à piston.
- Elle comporte peu de pièces d'usure, ce qui permet d'augmenter la fiabilité du moteur et de faire moins de maintenance.
- Elle est un peu plus légère que le moteur à piston.
- Elle permet d'être multi-carburant en ouvrant la voie à l'usage de biocarburants et bientôt à l'hydrogène.
- Pas de vibration ce qui entraîne une réduction du bruit.
- Possibilité d'ajouter une option d'inversion de poussée. C'est un dispositif permettant d'orienter vers l'avant la poussée produite par un moteur dans le but de ralentir l'avion et de réduire les distances de freinage lors de l'atterrissage.

Cependant, cette solution n'est pas utilisée car elle présente un inconvénient majeur : une consommation en carburant trop importante. La volonté des fondateurs de Turbotech était donc de trouver une solution pour réussir à adapter le turbopropulseur aux contraintes de l'aviation légère et notamment réduire sa consommation de carburant. La solution alors trouvée est l'échangeur thermique. Ce dispositif récupère la chaleur perdue dans les gaz d'échappement et la réinjecte dans la chambre de combustion, ce qui permet de réduire l'apport de chaleur venant du carburant et donc la consommation en carburant du système.

L'entreprise va alors développer deux gammes de produits utilisant cette turbine innovante à cycle régénératif :

- une gamme de turbopropulseurs pour l'aviation légère conventionnelle
- une gamme de turbogénérateurs adaptée pour l'aviation hybride-électrique

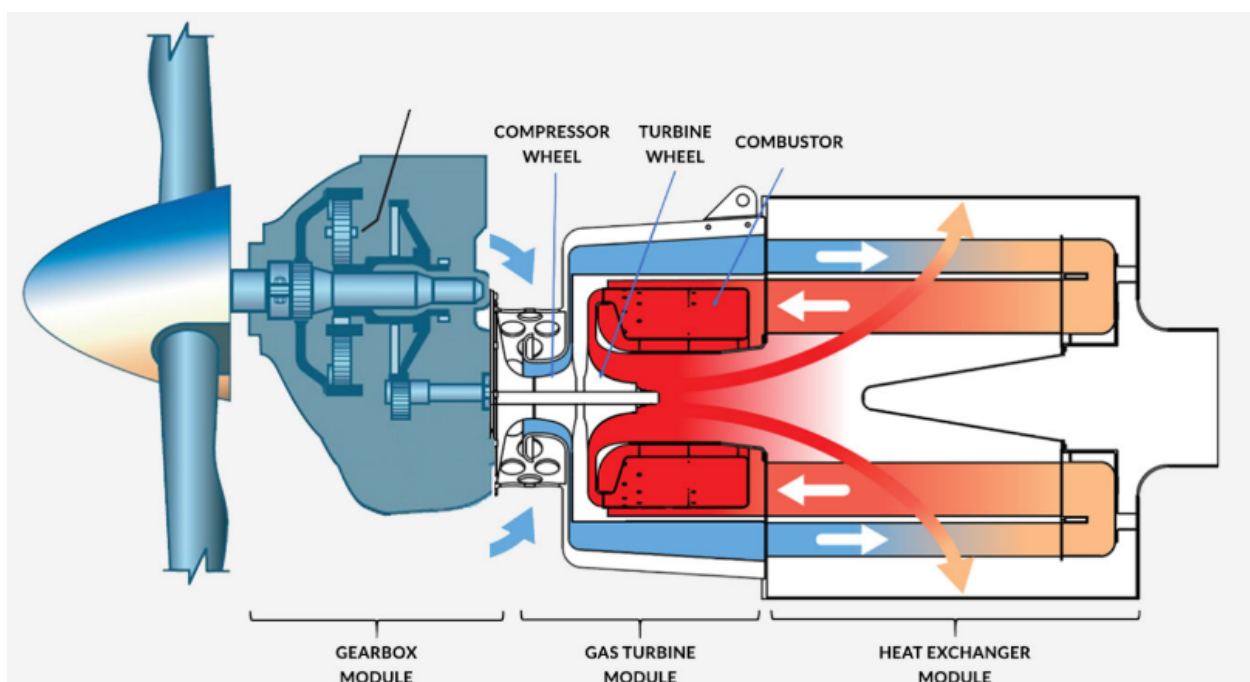


Figure 1: Vue en coupe du turbopropulseur avec la turbine régénérative

## Présentation du stage

Ce rapport détaille le stage effectué chez Turbotech dans le cadre de ma première année de formation d'ingénieur au sein de l'école des Mines de Saint-Etienne. Ce stage d'une durée d'un mois a pour objectif de me faire découvrir le fonctionnement d'une entreprise, les différents flux qui y transitent, les différents acteurs qui y travaillent et plus précisément le rôle de l'opérateur. Ma mission principale est d'aider au montage des turbomachines, encadré par ma tutrice de stage, Camille Mansiaux.

Si le domaine de l'entreprise n'est pas la priorité première du stage opérateur, je souhaitais effectuer ce stage dans une entreprise de l'industrie aéronautique car c'est dans ce secteur que j'aimerais exercer plus tard mon métier d'ingénieur. Quand j'ai découvert pour la première fois l'entreprise Turbotech, j'ai été étonné et intéressé par la technologie innovante découverte par les ingénieurs, c'est ce qui m'a poussé à proposer ma candidature. L'entreprise ne me semblait pas uniquement effectuer de la production et de la maintenance de propulseur mais me semblait être dynamique, ambitieuse, souhaitant faire évoluer le monde de l'aviation légère vers une manière de voler plus responsable, en accord avec les attentes et demandes environnementales actuelles. De plus Turbotech est une entreprise à taille humaine qui est en phase de développement intense. Ainsi je m'étais dit que cela me serait bénéfique pour, au-delà de mon rôle d'opérateur, bien comprendre le fonctionnement de la société, le rôle de chacun des employés, les différents services et bureaux.

## Plan du rapport

Mon rapport de stage suivra le plan suivant :

- II- Analyse du fonctionnement de l'entreprise
- III-Travail et tâches réalisées
- IV-Vision de l'entreprise et du métier d'ingénieur

## II-Analyse du fonctionnement de l'entreprise

### Les produits développés

Comme évoqué précédemment les produits développés par Turbotech se basent sur la turbine régénérative. Cette turbomachine est composée de deux modules principaux : un module turbine et un module échangeur thermique. L'échangeur thermique va permettre de diviser par deux la consommation de la turbomachine en comparaison avec la consommation d'une turbomachine classique. Si le principe de l'échange thermodynamique est connu et utilisé depuis longtemps, le défi était d'adapter cette solution au monde de l'aéronautique et des nombreuses contraintes associées.

Voyons à présent les deux produits s'appuyant sur la turbine régénérative commercialisés par Turbotech :

### Le Turbopropulseur

La gamme de Turbopropulseurs de Turbotech est dédiée à l'aviation légère, aux hélicoptères et aux drones. Elle propose une consommation de carburant similaire aux meilleurs moteurs à piston du marché tout en étant plus légère, plus silencieuse et plus fiable.

Le turbopropulseur combine tous les avantages d'une turbine à gaz avec une très faible consommation de carburant (19l/h). Grâce à sa capacité en polycarburant, les déplacements sur de longues distances ne sont plus un problème.

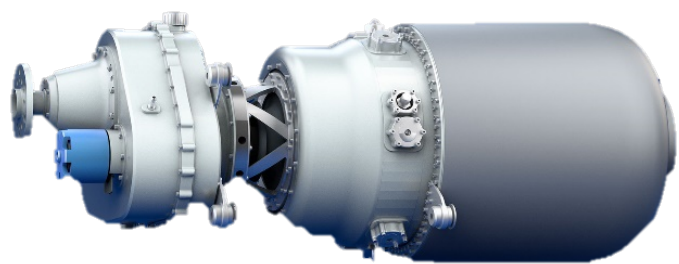


Figure 2 : Turbopropulseur

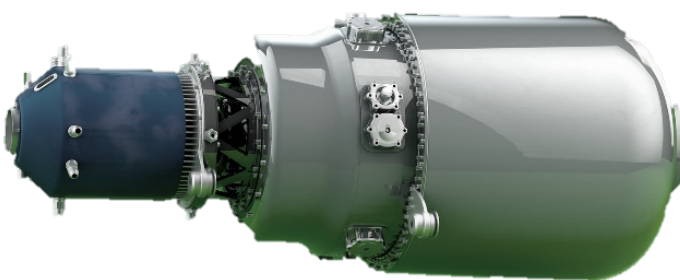


Figure 3 : Turbogénérateur

### Le Turbogénérateur

La gamme de Turbogénérateurs de Turbotech permet de générer de l'électricité à bord d'aéronefs hybrides à partir de n'importe quelle source de carburant.

Le turbogénérateur est un groupe électrogène embarqué qui constitue un puissant catalyseur pour les architectures de propulsion électrique. Turbotech développe deux classes de puissance de turbogénérateur : 55kW (le TG-R55) et 90kW (le TG-R90). Ce sont les premiers groupes électrogènes embarqués dédiés à l'industrie aéronautique hybride-électrique.

Combiné avec des batteries, le turbogénérateur peut les recharger en vol. Cet ensemble offre une distance franchissable 10 fois plus importante qu'un avion 100% électrique.

Les deux gammes de produits étant sur la fin de leur développement avec des essais concluants, l'enjeu de Turbotech est dorénavant de commercialiser et industrialiser ses machines.

## La gestion de l'approvisionnement

Chaque pièce des turbomachines a été conçue par Turbotech qui va sous-traiter la fabrication de ces dernières auprès de nombreux fournisseurs. Une fois les pièces conçues, l'assemblage, les tests et l'équipement du produit sont réalisés par l'entreprise. Il est impossible pour cette dernière de fabriquer l'ensemble des pièces tant elles sont diverses et demandent une grande précision que seules des machines de pointe et très coûteuses peuvent réaliser. Une supply chain (chaîne d'approvisionnement) est donc nécessaire pour assurer la bonne gestion des commandes, retours, livraisons des pièces.

La Supply Chain de Turbotech est composée de :

- 350 références pour chaque type de moteur dont certaines sont communes aux deux moteurs (Turbopulseurs & Turbogénérateurs).
- Des pièces obtenues selon différents procédés tels que l'usinage, la fonderie, le formage, la découpe laser etc.
- Une centaine de fournisseurs.
- Des délais d'approvisionnement très variés selon les pièces et les fournisseurs qui peuvent durer entre 3 jours et un an.
- Des références approvisionnées sur une source principale (un seul et même fournisseur) et une ou deux sources de sécurité.
- L'entreprise est encore en cours de développement, les plans évoluent encore fréquemment ce qui entraîne des changements de pièces. Il ne faut donc pas commander une version en trop grande quantité tant que les plans ne sont pas définitifs car celle-ci risque de changer sous peu de temps. Néanmoins, il ne faut pas non plus commander en trop petite quantité car les coûts seraient beaucoup trop élevés.
- Certaines pièces sont montées sur le moteur dès leur réception (Pièce Entrée Moteur - PEM) alors que d'autres doivent subir une opération avant d'être montées (Pièce Intermédiaire de Fabrication - PIF).

L'approvisionnement se fait principalement auprès de fournisseurs français ou européens. Très peu de pièces viennent de pays fortement éloignés.

## L'organisation de la société

Turbotech possède quatre services : La Direction Technique, la Direction Opérationnelle, la Direction Commerciale et la Direction Financière.

La direction technique représente le bureau d'étude de l'entreprise, c'est eux qui conçoivent les pièces des turbomachines. Cette conception débute par une compréhension d'un besoin, la réflexion sur une possible solution à développer, la modélisation de cette dernière et la réalisation et le test de prototypes. C'est au moyen de ce service que des améliorations sont proposées et développées ce qui permet d'améliorer les performances des machines.

La direction opérationnelle est le service dans lequel j'ai travaillé au cours de mon stage. L'équipe a la charge de la gestion de l'approvisionnement en pièce de l'atelier, le montage et la maintenance des turbomachines, le développement de méthodes de travail efficaces pour industrialiser la production, le développement d'outillages pour aider au montage et enfin la vérification de la qualité des produits. C'est aussi ce service qui est en lien direct avec les fournisseurs. Il n'y a pas encore de service qualité indépendant dans l'entreprise mais c'est un objectif d'embauche de l'entreprise pour 2023 : développer un service qualité uniquement dédié à cette tâche.

La direction commerciale de l'entreprise va s'occuper de vendre les turbomachines à des constructeurs de l'aviation légère pour équiper leurs avions ou hélicoptères. C'est eux qui s'occupent des relations avec les clients, organisent les commandes, signent les contrats...

Enfin la direction financière de l'entreprise va gérer la circulation des flux financiers au sein de la société. Notamment l'utilisation des subventions, des fonds d'investissement, du budget dédié à l'achat des pièces, équipements, machines...

On aura l'organigramme simplifié suivant :

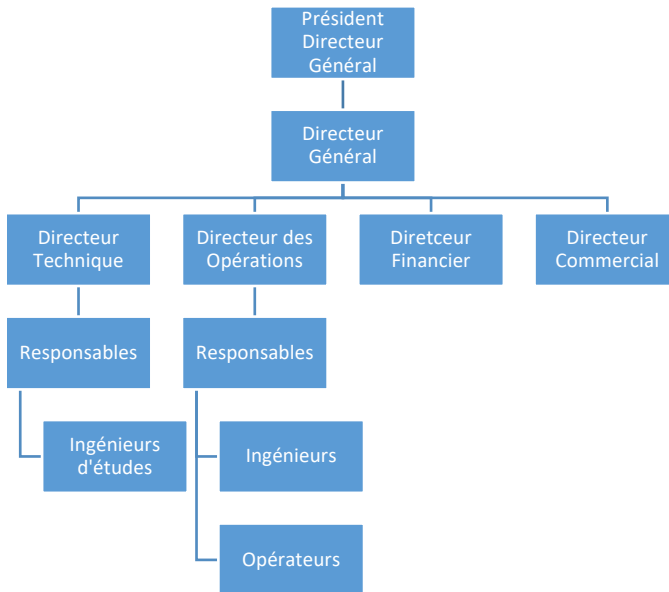


Figure 4 : Organigramme de la société

L'entreprise est actuellement composée de 15 employés, principalement des ingénieurs. La parité n'est pas respectée car une seule femme y travaille mais les dirigeants sont conscients de cette lacune et souhaite privilégier l'embauche de femmes pour le recrutement de l'année 2023. Un des employés est étranger ce qui permet certaines discussions en anglais. Étant donné qu'il n'y a pas encore de service de ressources humaines, il n'y a pas de politique de recrutement précise, cependant, l'entreprise aime privilégier le schéma d'embauche alternance puis proposition d'embauche pour le recrutement des ingénieurs et opérateurs.

### Le modèle économique de l'entreprise

Turbotech a officiellement le statut de start-up mais est en passe de devenir une PME (Petite ou Moyenne Entreprise). C'est une société privée dont l'objectif est d'être rentable, c'est-à-dire produire des bénéfices positifs. Après 5 ans d'activité, l'entreprise n'est toujours pas rentable, cependant elle n'est pas en faillite, en effet, sa trésorerie est largement positive. Cela s'explique par son processus de création :

La société s'est constituée autour de quatre associés dont un mandataire (Le Président Directeur Général de l'entreprise) qui ont effectué une première levée de fonds de 3,2 millions d'euros auprès de deux investisseurs : GO Capital et Safran pour pouvoir débiter leurs activités. Cette levée de fonds a notamment permis l'acquisition de fonds propres, élément essentiel à la création d'une entreprise. Mais les investissements ne sont pas l'unique source monétaire de Turbotech, il y a aussi les subventions. Ces dernières proviennent de la région Ile de France, de la DGAC et de certains organismes soutenant l'innovation. Ces subventions ont permis à l'entreprise d'embaucher, d'acquérir des locaux, de produire des prototypes... Le montant élevé de ces aides (plusieurs millions d'euros) a évité le recours à une deuxième levée de fonds, qui certes représente un apport d'argent pour l'entreprise mais dilue aussi la part de capital des fondateurs en ajoutant des actionnaires au circuit économique. Aujourd'hui, le business plan (c'est-à-dire l'évolution économique de la société) prévoit un premier exercice positif de cette dernière d'ici deux ans, cela correspondrait à la vente de 60 turbomachines par an, c'est le seuil de rentabilité de l'entreprise. Pour avoir un ordre d'idée, la production de l'entreprise l'année passée (2022) était de 15 turbomachines tandis que le nombre de commandes fermes pour 2023 s'élève aujourd'hui à 30 commandes. On perçoit donc une dynamique positive témoignant d'une croissance bénéfique pour la société.

Concernant les marchés de l'entreprise, il y en a deux principaux : celui du turbopropulseur et celui du turbogénérateur. Pour le turbopropulseur, le choix stratégique de l'entreprise s'est porté sur le marché de l'aviation non certifiée. En effet, il existe deux grandes catégories dans l'aviation : l'aviation certifiée et l'aviation non certifiée. Pour comprendre, il faut remonter dans le temps. A l'époque des débuts de l'aviation commerciale, prendre l'avion était très risqué, un pilote sur deux mourait car les appareils n'étaient pas fiables et manquaient de sécurité. Des organismes ont alors été créés pour imposer et faire respecter des normes de sécurité pour réduire le nombre d'accident. Au-delà d'un certain rapport poids/puissance/passager un appareil doit obtenir une certification de la part de l'organisme en charge de la sécurité de l'aviation dans le pays concerné pour pouvoir voler. En Europe, cet organisme est l'EASA (European Union Aviation Safety Agency). La certification d'un moteur est très coûteuse car elle demande en premier lieu que l'entreprise soit certifiée par l'agence puis que le moteur subisse et valide de nombreux

tests allant jusqu'à la casse du moteur. Turbotech a donc préféré s'intéresser dans un premier temps au marché de l'aviation non certifiée, c'est-à-dire les appareils légers de faible puissance appelés ULM (Ultra Léger Motorisé). Deux grandes classes d'ULM sont visées par l'entreprise : les avions et les hélicoptères. Ce marché est un petit marché en Europe dont les principaux clients (constructeurs d'avions) sont Bristell, JMB et Aerospool. Les principaux concurrents sont les constructeurs de moteurs à pistons. A terme, l'objectif de l'entreprise est de proposer un moteur certifié et de se faire une place dans le monde de l'aviation certifiée. Cette certification nécessitera le développement d'une turbomachine plus puissante que les turbomachines actuelles et donc la nécessité d'une mise à l'échelle pour répondre aux normes de la certification.

Le deuxième marché est celui du turbogénérateur (produire de l'électricité pour l'aviation hybride). Ce dernier est très prometteur car l'aviation hybride représente un avenir attrayant pour les constructeurs en quête d'un moyen de propulsion plus écologique pour leurs appareils.

### Contexte et enjeux de l'entreprise

Durant mon stage, j'ai trouvé que le contexte dans lequel évoluait l'entreprise était très intéressant car porteur de nombreux questionnements essentiels au développement d'une entreprise. Turbotech se trouvait dans un moment charnière entre l'élaboration de prototypes et l'industrialisation de sa production. Initialement, il a fallu aux quatre spécialistes plusieurs années pour étudier, concevoir et modéliser un premier prototype de turbomachine. A l'issue de cette phase de conception, une phase de tests a alors commencé permettant d'améliorer les modèles par le traitement des nombreuses données fournies par les essais. Ces derniers étant concluants, la société a débuté la commercialisation à petite échelle de ses turbines avec un objectif de développement technologique et non de développement économique. Les premiers clients participaient à une phase de tests et d'amélioration continue très importante. Ces tests ont notamment compris les premiers essais en vol des turbopropulseurs qui jusqu'alors étaient testés au sol sur des bancs d'essais. Les enseignements tirés de ces ventes ont mené au contexte dans lequel j'ai pu travailler : les performances des turbomachines ont atteint les objectifs attendus, l'industrialisation de la production est alors nécessaire. J'ai pu prendre conscience de l'ensemble des enjeux liés à cette industrialisation. L'objectif est de créer des process de méthodes pour permettre de monter les turbines à l'identique à chaque fois et que ce montage repose au maximum sur l'application de méthodes et non sur le talent, l'expérience ou les initiatives d'un opérateur.

### Développement durable

Un des principaux avantages de la turbine régénérative est la réduction de la consommation de carburant de cette dernière grâce à l'échangeur thermique. Ce produit s'inscrit donc dans une volonté de diminuer l'impact du secteur aéronautique sur les problèmes environnementaux actuels. C'est aussi l'objectif du turbogénérateur qui vise à développer et augmenter l'importance de l'aviation hybride électrique qui sera peut-être l'aviation de demain.

Néanmoins l'entreprise est en plein développement et a pour objectif premier de devenir rentable. Les considérations environnementales ne sont donc pas prioritaires. Une attention est toutefois portée à la provenance des commandes, le fait que les pièces ne voyagent pas trop avant d'être livrées, les conditions de fabrication... Un tri des déchets est effectué dans l'atelier et l'entreprise possède un véhicule électrique pour effectuer les déplacements au banc d'essai (situé à quelques minutes de l'entreprise, à côté des pistes de l'aérodrome).

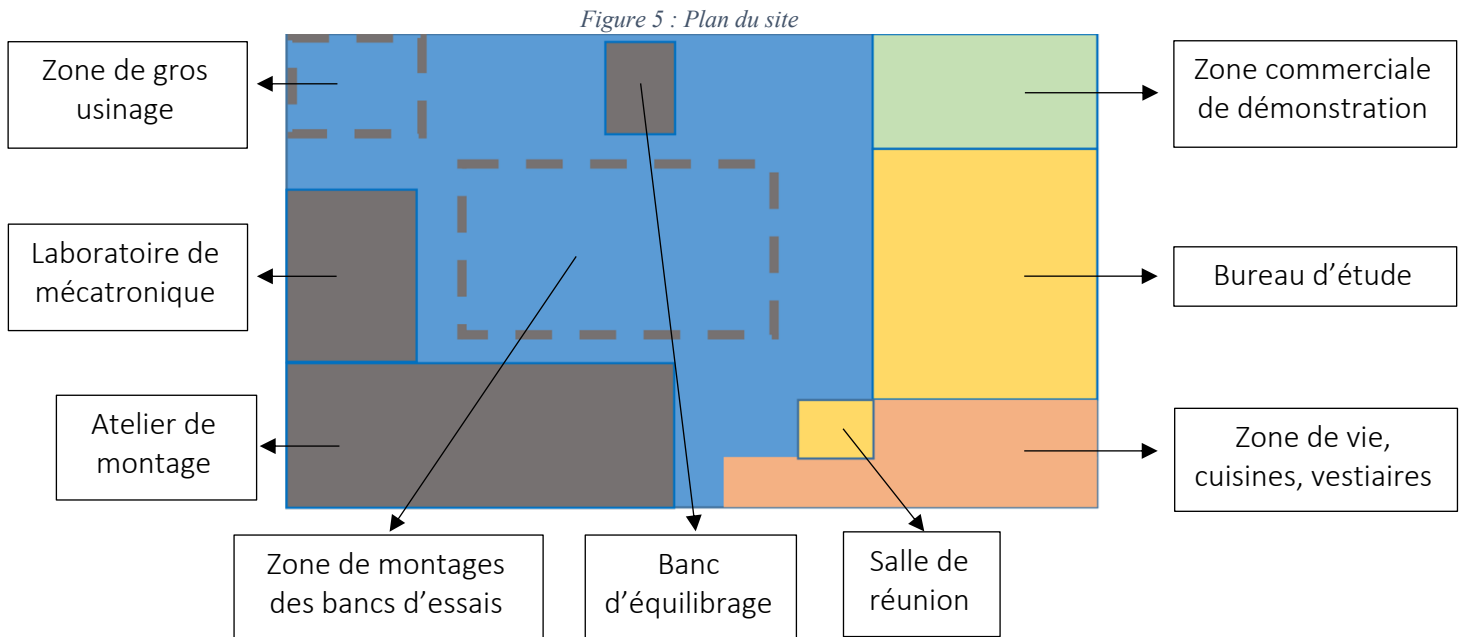
Enfin certaines pistes d'amélioration ont été évoqué comme l'utilisation de biocarburant pour réaliser les tests des turbomachines aux bancs d'essai. C'est un des grands avantages de la turbine, cette dernière permet l'utilisation de plusieurs types de carburants. Cependant, les essais sont aujourd'hui effectués avec du carburant pour avion car c'est avec ce carburant que les clients font tourner le turbopropulseur. Une commande de biocarburant avait été tenté mais cette dernière n'a pas abouti car le volume de commande minimum était beaucoup trop important en comparaison avec la consommation de l'entreprise.

### III-Travail et tâches effectués

Pendant la durée de mon stage j'ai pu réaliser trois missions principales pour l'entreprise : le montage/démontage des turbomachines, la réalisation d'instructions de travail pour guider les étapes de montage et enfin la conception d'une caisse de transport.

#### Montage /Démontage des turbomachines

Ma principale tâche était d'aider au montage et démontage des turbomachines au sein de l'atelier de montage de l'entreprise. L'organisation des locaux de l'entreprise était la suivante :



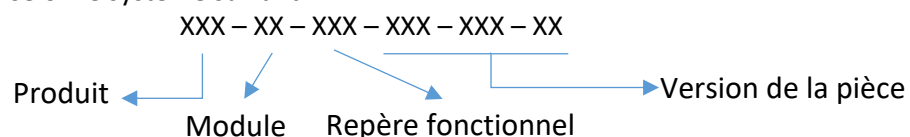
*Figure 6 : Zone de mise au banc*



*Figure 7 : Atelier de montage*

J'ai eu l'occasion d'effectuer chacune des étapes de l'assemblage d'un Turbopropulseur. Cet assemblage débute par l'ouverture d'un Ordre de Fabrication (OF) sur l'ERP (Entreprise Ressource Planning) de l'entreprise. Un numéro d'OF est alors créé et cela permet d'effectuer la première tâche : le picking.

Le picking consiste à aller dans l'espace de stockage de l'entreprise et à sortir du stock l'ensemble des pièces nécessaires à l'élaboration de la turbomachine. J'ai pu alors prendre conscience de l'importance de la gestion de stock pour une entreprise. Pour pouvoir le gérer au mieux, Turbotech a développé sa propre nomenclature de pièce selon le système suivant :



Il faut bien veiller à sortir la bonne pièce dans la bonne quantité pour être sûr de garder un stock virtuel (sur l'ERP) cohérent avec le stock réel pour éviter tout problème d'approvisionnement qui pourrait générer des retards sur les productions. En plus d'un numéro de nomenclature, certaines pièces possèdent un numéro de lot permettant une meilleure traçabilité et très utile en cas de défaut sur une pièce car cela permet de rappeler uniquement les pièces du lot concerné. Une fois les pièces récupérées, elles sont disposées sur le chariot de picking dans l'atelier de montage.

Débuté alors la phase de montage de la turbomachine. Durant cette phase, l'ensemble des actions à mener, des pièces et outils à utiliser sont renseignés dans des Instructions de Travail (IT) qui correspondent à la notice de montage de la turbine. Tout est automatisé par l'OF qui propose les étapes les unes à la suite des autres et impose des mesures à faire et donc des valeurs à renseigner dans le logiciel pour vérifier la bonne qualité du montage.



Figure 8 : Exemple d'Instruction de Travail

J'ai pu apprendre au travers de ces expériences de montage la manipulation de nombreux outils plus ou moins complexes permettant d'appliquer différentes méthodes de montage, de serrage et de mesure. J'ai notamment été surpris par le soin qui est porté au serrage des vis. Différents protocoles sont ainsi appliqués en fonction de la nature des pièces, de la taille de la vis, de son futur environnement. Un de ces protocoles consiste à d'abord vérifier que les vis sont de tailles similaires puis de les dégraisser en les passant au bain d'alcool isopropylique. On positionne alors les vis dans leur pas respectif en appliquant sur le filetage de chacune d'elles un produit appelé frein filet permettant d'éviter le desserrage des vis puis on les accoste au moyen d'une clé Allen ou d'un tournevis (accoster une vis consiste à visser la vis jusqu'à ce que la tête de vis soit en contact avec la pièce sans la serrer fort). A la suite de ce serrage, on utilise un tournevis couple (outil que j'ai beaucoup aimé) permettant de serrer une vis à un couple donné et donc d'être certain que chacune des vis de la pièce est vissée avec la même force. Ce serrage est réalisé en étoile, technique permettant d'assurer un serrage uniforme.

Si je me doutais bien avant de débiter mon stage que le montage demanderait une grande précision, j'ai tout de même été étonné du niveau de précision qui doit être assuré. Ce niveau de précision, notamment les mesures de jeu au niveau du compresseur et de la turbine, vont directement déterminer les performances de la turbomachine. La majorité des pièces demandant une précision au micron près. J'ai ainsi appris à manipuler micromètre, comparateur, colonnes de mesures... De même, j'avais déjà été sensibilisé lors de mes cours de sciences de l'ingénieur en classes préparatoires à la question de l'équilibrage des machines tournantes que j'avais abordé au travers de divers travaux pratiques mais je ne pensais pas que ce sujet était d'une importance capitale pour les entreprises travaillant sur de telles machines. Ce que je pensais être une

notion simplement scolaire, s'avère être un sujet d'étude très sérieux. Turbotech possède d'ailleurs son propre banc d'équilibrage sur lequel j'ai pu travailler pour effectuer l'équilibrage du compresseur et de la turbine.

Le montage terminé, j'ai pu procéder à la mise au banc de la turbomachine. Lors de cette phase, le moteur est sorti de l'atelier pour être installé sur une remorque d'essais. Débuté alors la phase de raccordement des circuits d'huile et de carburant ainsi que la pose des équipements de vol. Encore une fois, chacune des actions est documentée au travers d'IT et s'accompagne de nombreuses vérifications. La suite de la préparation aux essais est réalisée par la direction technique qui va s'occuper de toute la partie programmation informatique du moteur, des différentes pompes, des commandes de vols... J'ai découvert lors de cette phase la complexité de la gestion des différents flux transitant autour la turbomachine, la moindre fuite peut être très problématique et endommager sérieusement l'ensemble de la machine.



Figure 9 : Moteur monté sur le banc d'essai

L'étape la plus impressionnante pour moi a été la phase de tests du moteur. L'allumage d'un moteur générant trop de nuisances sonores, les tests sont effectués sur un site réservé au sein de l'aérodrome de Toussus-Le-Noble. Le moteur y est disposé, alimenté en carburant, en électricité et piloté depuis le container de contrôle. Toute la phase de tests est automatisée, il suffit de lancer un programme informatique puis de veiller au bon fonctionnement de la turbomachine en surveillant certains paramètres essentiels tel que la température du moteur, sa vitesse de rotation, la pression/température de l'huile/carburant. Même si la turbine développée reste une turbine de faible puissance par rapport aux standards de l'aéronautique, j'ai été surpris par la puissance de la machine, le bruit et le souffle généré.

Enfin, la dernière étape de la production est la mise en caisse de la turbomachine. Il faut au préalable démonter la turbine du banc d'essai, la déséquiper et la nettoyer.



Figure 10 : Moteur en phase de test

### Réalisations d'Instructions de Travail (IT)

En parallèle du montage des turbomachines, j'ai pu travailler en autonomie sur la réalisation d'IT dans le but d'améliorer les méthodes de production de l'entreprise. Comme évoqué précédemment l'enjeu actuel de l'entreprise est de passer d'une production de prototypes à une production série. L'objectif est donc d'industrialiser le processus de montage. Pour cela les turbines doivent être montées à l'identique et cela passe par des instructions de montage les plus précises possibles. Au prix d'un travail conséquent l'entreprise possède déjà une base importante d'IT permettant de monter le turbopropulseur dans sa globalité. L'enjeu était donc d'identifier les IT incomplètes ou manquants de précisions pour les refaire et ainsi améliorer la fiabilité des consignes de montage. Voici un exemple d'IT que j'ai réalisé pour l'entreprise :

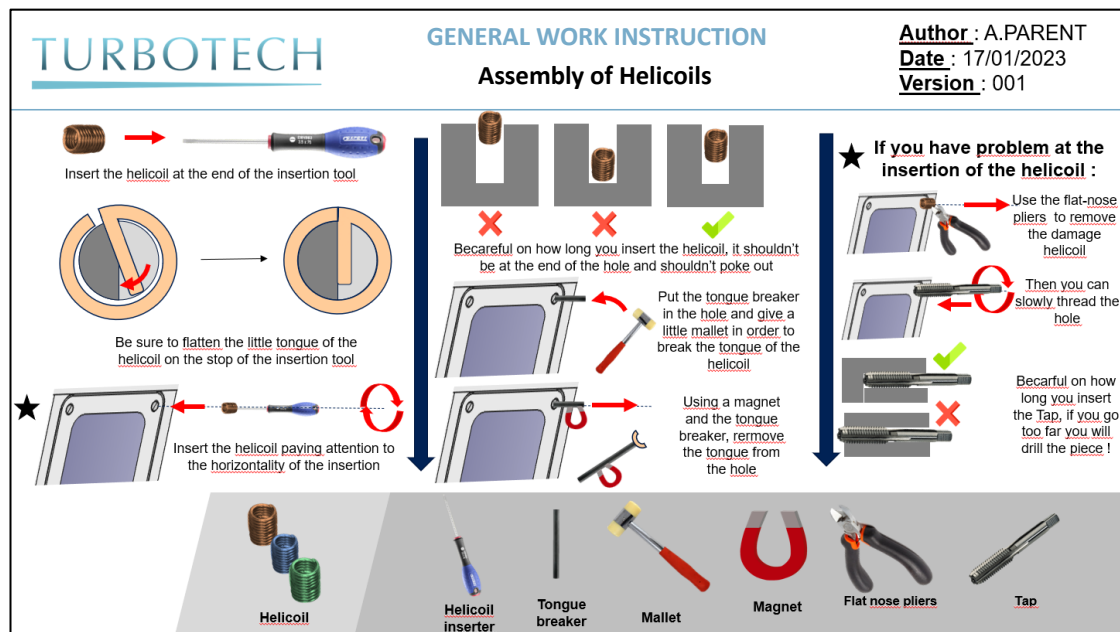


Figure 11 : Instruction de Travail réalisée

Pour rendre le procédé universel, les IT doivent être rédigées en anglais, comporter de nombreuses images, détailler le plus précisément possible les outils à utiliser, les pièces à monter... Pour réaliser les visuels j'ai utilisé le logiciel de modélisation SolidWorks. Dans cet exercice, je me suis confronté à la difficulté de se mettre à la place d'un opérateur n'ayant aucune connaissance sur le sujet et devant monter parfaitement et en autonomie la pièce demandée.

## Conception d'une nouvelle caisse de transport

Pour terminer, la dernière tâche réalisée a été la conception d'une nouvelle caisse de transport pour les turbomachines. La problématique était la suivante : le transport des turbomachines se faisait dans des caisses en bois dans lesquelles des intercalaires attachés au moteur viennent se glisser dans des guides comme montré ci-contre : Cependant ces caisses étaient uniquement adaptées au transport du turbopropulseur et non à celui du turbogénérateur. Je devais donc réfléchir au moyen de rendre la caisse adaptable aux deux turbomachines.

J'ai débuté le sujet par des prises de mesure sur le turbopropulseur, le turbogénérateur et la caisse déjà existante. Ces mesures, ainsi que les conseils de ma tutrice de stage m'ont orienté vers la solution suivante : l'ajout d'un guide aux dimensions du turbogénérateur dans la caisse et la création d'un lot d'intercalaire traitant l'ensemble des configurations et options moteurs disponibles. Cela permet de rendre la solution de transport modulable car les opérateurs devront simplement choisir les bons intercalaires du stock, les fixer sur le moteur puis insérer les intercalaires dans la caisse.

J'ai alors commencé la modélisation de la caisse sur SolidWorks. J'ai tout d'abord élaboré le plan 3D de la caisse, j'y ai rajouté les guides puis j'ai réalisé un par un les intercalaires. J'avais une contrainte forte de précision, notamment pour garantir la fixation des attaches moteur sur l'intercalaire ainsi que l'horizontalité de l'ensemble une fois en caisse. Voici quelques visuels de mes réalisations :

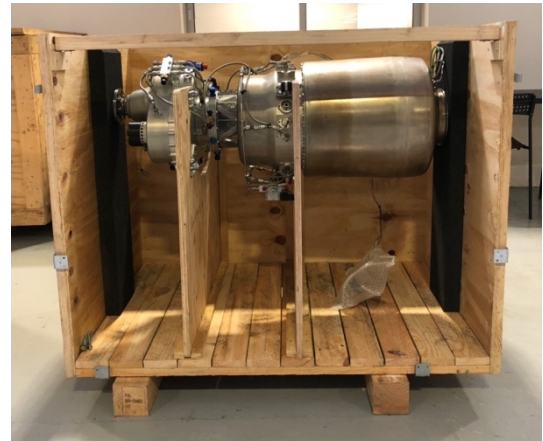


Figure 12 : Moteur en caisse de transport

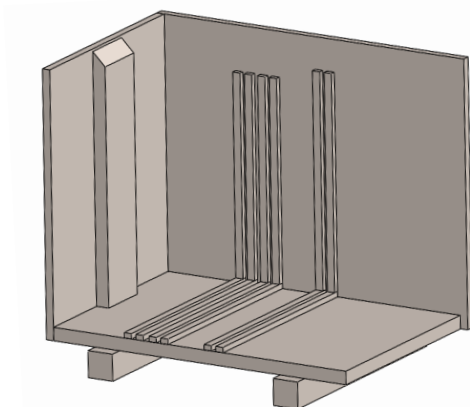


Figure 15 : Modélisation de la caisse de transport vide

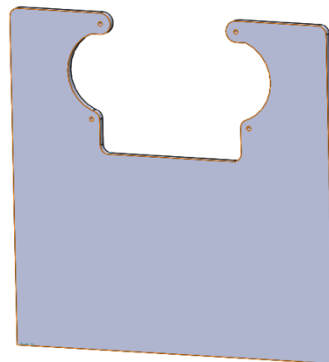


Figure 13 : Modélisation d'un intercalaire

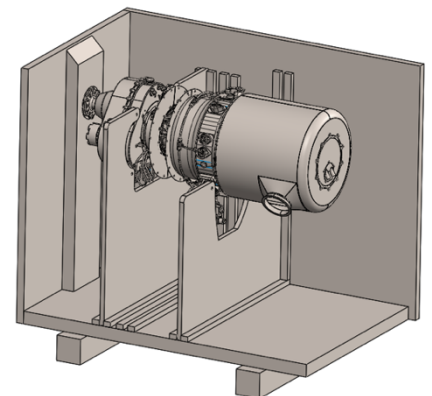


Figure 14 : Modélisation de la caisse de transport avec le moteur

Cependant ces modélisations ne sont exploitables par un constructeur, ce dernier a besoin des plans 2D de l'assemblage que j'ai par la suite réalisé :

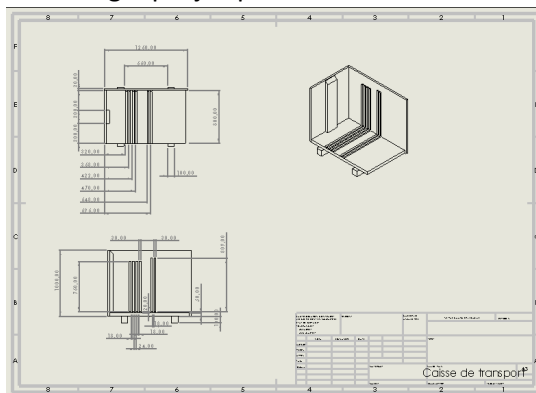


Figure 17 : Plan 2D de la caisse de transport

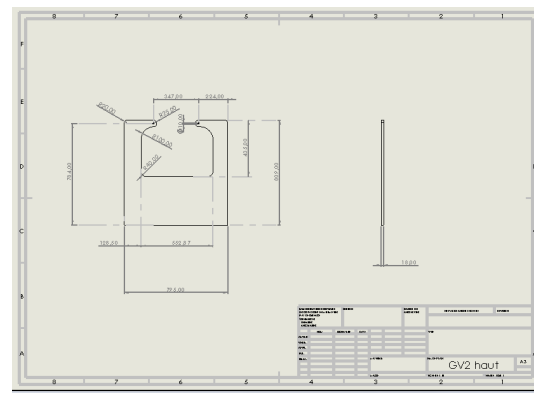


Figure 16 : Plan 2D d'un intercalaire

J'ai adoré travailler sur ce sujet car il demandait une certaine prise d'initiative et englobait une démarche dans sa totalité : réflexions, mesures, modélisations et tests. Cela m'a permis de mettre en pratique une démarche d'ingénieur dans un cas simple. Au travers de ce travail, j'ai aussi pu développer mes compétences en SolidWorks, outil que j'ai apprécié manipuler et qui me semble important à maîtriser.

## IV-Vision de l'entreprise et du métier d'ingénieur

### Vision de l'entreprise

Étant donné que la taille de l'entreprise n'était pas trop importante, j'ai pu discuter avec l'ensemble des employés, bien identifier le rôle de chaque service et comprendre les relations entre ces derniers. J'ai beaucoup apprécié pouvoir assister aux différentes réunions d'ingénieurs de ma tutrice se stage. Ces réunions m'ont permis d'appréhender la notion de management d'équipe, de prise de décision et de résolution de problèmes collaboratifs.

Une première réunion intéressante à laquelle j'ai pu prendre part a été la réunion hebdomadaire de mise à jour du plan d'action de la direction opérationnelle. L'ensemble des acteurs du service opérationnelle était convié à cette réunion qui débutait par une présentation de la part du directeur des opérations des points importants abordés lors de la précédente réunion des dirigeants des quatre services. La réunion se poursuivait alors par une reprise des actions majeures de la semaine passée, les grandes difficultés rencontrées, les sujets à avancer en priorité. Enfin, le plan d'action était mis à jour. Ce plan permet de lister l'ensemble des sujets importants/problématiques actuels à traiter par le service. Il prend la forme d'un tableau comme représenté ci-

| SUJET | PILOTE | DELAI |
|-------|--------|-------|
|       |        |       |
|       |        |       |

Figure 18 : Plan d'action de l'atelier

Chaque ligne du tableau est alors reprise pour être mise à jour en fonction des dernières informations des différents acteurs du service. Ce tableau est présent dans l'atelier et permet de garder une vision globale sur l'ensemble des actions à mener à court terme. Je trouve cet outil très intéressant d'un point de vue organisationnelle, d'autant plus qu'il est physiquement présent sur le lieu de travail, ce n'est pas un simple fichier Excel dans un disque dur d'ordinateur. Pour clôturer la réunion, chaque employé avait la parole pour faire remonter des sujets non traités lors de la réunion permettant de bien impliquer l'ensemble de l'équipe dans la vie du service.

J'ai aussi eu la chance d'assister à une réunion un peu particulière, une présentation de restructuration de l'entreprise. L'ensemble des employés de la société ont été convié à une présentation menée par le PDG (Président Directeur Général) et DG (Directeur Général) dévoilant un nouvel organigramme, de nouvelles fonctions et une nouvelle organisation des services. Cette restructuration intervient dans le contexte que j'ai présenté précédemment et accompagne la montée en puissance de l'entreprise. De nouveaux objectifs d'embauche ont été présentés, ce qui m'a permis de prendre conscience de l'importance du recrutement. Ainsi, un recrutement efficace devra être précédé d'une analyse précise des points faibles de la société pour permettre de rechercher le profil le plus en adéquation avec le poste manquant. J'ai aussi pu observer la manière de mener une réunion globale d'entreprise, comment obtenir l'attention de l'ensemble des employés et comment présenter les informations de façon concises et structurées. J'ai grandement apprécié la bonne humeur dégagée lors de cette réunion ainsi que l'élan collectif fédérateur autour des projets de l'entreprise.

Plus généralement, mon stage chez Turbotech m'a donné une très bonne vision de l'entreprise, une vision que j'estime moderne sur l'entreprise d'aujourd'hui. Un mélange de recherche, d'innovation pour améliorer les technologies actuelles et de mise en place de méthodes pour assurer une production conséquente et donc rentable pour la société. La communication m'a semblé être un point essentiel pour permettre une collaboration la plus efficace possible entre l'ensemble des services. J'ai pu remarquer à plusieurs reprises que certains problèmes donnaient lieu à différentes solutions en fonction du service ou de l'acteur qu'on sollicitait pour les résoudre. Ainsi la direction technique n'aura peut-être pas la même vision que la direction opérationnelle sur certains points, une solution développée par un ingénieur du bureau d'étude semblant très intéressante imposera peut-être trop de contraintes aux opérateurs. Mais cette divergence de points de vue est normale car chaque service tente de défendre ses intérêts pour assurer ses objectifs. Il faut alors faire preuve d'écoute, accepter une remise en question de ses arguments pour ne pas créer de conflits qui retarderaient l'avancée des projets de la société.

## Vision du métier d'ingénieur

Lors de mes périodes de montage à l'atelier, j'étais supervisé en permanence par ma tutrice de stage Mme Camille Mansiaux. J'ai alors pu échanger avec elle sur de nombreux points en lien avec l'entreprise, le monde du travail d'aujourd'hui, le rôle de l'ingénieur.... Mme Mansiaux m'a partagé sa précédente expérience professionnelle chez Safran me permettant ainsi d'avoir une vision à la fois sur le travail dans une petite entreprise comme Turbotech mais aussi celui dans un grand groupe comme Safran. Je retiens que pour elle les deux expériences sont enrichissantes pour des raisons différentes, avec les avantages et les inconvénients de chacune. Si la sécurité de l'emploi, les plans de carrières et l'accompagnement apportés par un grand groupe peuvent être rassurant, le travail dans une start up sera sûrement plus challengeant, moins formel et moins contraint par de nombreux procédés administratifs à respecter. Néanmoins, peu importe la taille de l'entreprise, sa vision du métier d'ingénieur reste la même : un métier pouvant être exercé dans de nombreux domaines applicatifs tout en gardant la même philosophie de travail, celle de se questionner, de réfléchir, de concevoir, d'expérimenter et de tirer des conclusions sur les problématiques étudiées. C'est un travail demandant une capacité d'adaptation et de prises de décisions importantes. La motivation première de Mme Mansiaux reste le challenge industriel, l'accompagnement et l'élaboration du produit depuis sa sortie du bureau d'étude jusqu'à la livraison chez le client. Il faut ainsi être capable d'interagir avec d'autres acteurs (ingénieurs, commerciaux, opérateurs...) n'ayant pas les mêmes compétences et savoir-faire et de pouvoir ainsi prendre du recul sur les questions traitées, d'organiser la résolution d'un problème le plus efficacement possible. Je partage aussi ce point de vue qui me semble en accord avec les enseignements proposés dans mon cursus d'ingénieur à l'école.

J'ai de même pu échanger avec le Directeur Général, Mr Jean-Michel Guimbard sur les aspects économiques et financiers de l'entreprise dans un premier temps puis sur les questions d'entrepreneuriat et du rôle de l'ingénieur dans l'entreprise dans un second temps. En effet, Mr Guimbard est l'un des quatre fondateurs de l'entreprise. Il a tout d'abord exercé 17 ans en tant qu'ingénieur chez Safran au bureau d'étude puis en tant que responsable de projets. J'étais donc curieux de savoir quelles raisons l'avaient incité à s'engager dans la création de Turbotech. Tout d'abord il était très satisfait et a beaucoup apprécié son expérience chez Safran. Il a pu développer de nombreuses compétences très utiles aujourd'hui pour la gestion de Turbotech. J'ai retrouvé dans son témoignage les mêmes éléments que Camille avait soulevés précédemment sur la comparaison entre grande et petite entreprise. La principale raison qui l'a amené à ce changement de carrière a été le fait qu'il estimait avoir vu tout ce qu'il devait voir dans l'entreprise et qu'il ne se voyait pas continuer comme ça pendant des années jusqu'à la retraite (certains au contraire apprécient ce travail de gestion de projet). Cependant le lancement dans le projet Turbotech n'a pas été un lancement dans l'inconnu, de nombreuses études avaient précédemment été effectuées sur le marché, sur la faisabilité du projet. Il y avait évidemment une part de risques mais cette dernière était mesurée et connue. Cette discussion m'a permis d'avoir un nouveau point de vue sur l'entrepreneuriat, initialement je considérais l'idée de monter une entreprise comme étant beaucoup trop risquée et difficile mais maintenant je le vois comme une possibilité de pouvoir réaliser un projet qui nous anime, de faire ce qui nous tient à cœur. Concernant la vision du métier de l'ingénieur, Mr Guimbard perçoit une importante différence entre le rôle de l'ingénieur de son époque et le rôle de l'ingénieur aujourd'hui. Si par le passé, le prestige pour un élève sortant de l'école était de rentrer dans une grande entreprise et de monter dans la hiérarchie pour occuper des postes de plus en plus importants, l'ingénieur d'aujourd'hui est amené à de nombreux changements de carrières, de domaines et d'entreprises.

Enfin sur ce point de la vision du métier d'ingénieur j'ai pu discuter avec le Directeur des Opérations Mr Baptiste Guerin, ancien ingénieur de Safran. Initialement il considérait l'ingénieur comme quelqu'un d'extrêmement complet en termes de connaissances théoriques et assez spécialisé. Aujourd'hui il a une vision beaucoup plus dynamique du métier d'ingénieur où les compétences techniques sont mises au profit, de l'appréhension, la compréhension et la solution de problèmes généraux de l'entreprise, du management d'équipe, de la gestion d'équipe... Pour lui, aujourd'hui, un ingénieur ne se distingue plus uniquement par des connaissances théoriques pointues mais par ses « soft skills », à savoir sa manière de se comporter, d'évoluer et d'interagir en entreprise. Quelqu'un capable de confronter la théorie et la pratique pour entreprendre, innover et faire progresser une équipe. J'aime beaucoup cette vision de l'ingénieur car elle sort de la vision exclusivement scientifique que l'on peut avoir de l'ingénieur.

## V-Conclusion du stage

En conclusion, j'ai adoré mon stage opérateur chez Turbotech. J'ai pu acquérir de nombreux enseignements et compétences tant sur le plan technique dans mon rôle d'opérateur au montage des turbomachines que sur le métier d'ingénieur, son rôle au sein de la l'entreprise et les défis auxquels il fait face. J'ai ainsi gagné énormément d'expérience dans le domaine manuel par l'apprentissage de méthodes rigoureuses de montage, la manipulation d'outils et l'application de protocoles de mesures. Au-delà de mon travail à l'atelier, ce stage a été l'occasion de perfectionner ma maîtrise d'outils de conception tel que SolidWorks et de l'appliquer de façon concrète sur le sujet des caisses de transport. Ce stage m'a aussi permis d'en apprendre plus sur le principe de fonctionnement d'une turbine. Jusqu'à présent je ne connaissais que son fonctionnement théorique. Je peux à présent mettre des mots et des images sur des procédés physique et mécanique permettant de faire voler un avion. Concernant l'organisation de l'entreprise, j'ai découvert l'existence de nombreux procédés essentiels à son fonctionnement tel que la supply chain dont je ne pensais pas la gestion si compliquée et pourtant si précieuse. Je me suis aussi familiarisé avec les aspects méthodes nécessaires pour accroître la productivité de la chaîne d'assemblage. J'ai d'ailleurs grandement apprécié travailler sur ce dernier point car cela demandait une certaine prise de recul sur les actions menées ainsi que des idées pour améliorer, standardiser et pérenniser des solutions.

L'ambiance de travail était toujours conviviale, dans la bonne humeur et l'envie de faire progresser l'entreprise. Je me sens privilégié d'avoir pu échanger avec des gens passionnées par leur métier, désireux de transmettre leurs compétences et leurs appétences pour ce qu'ils réalisent. Il n'y avait pas de routine chez Turbotech, chaque jour avait son lot de réussites, d'échecs et de problèmes à résoudre. Je garde avec moi les précieux conseils et points de vue des employés pour mes futurs choix de carrière et orientations. Cette expérience renforce mon envie de travailler dans le domaine de l'aéronautique et/ou de l'aérospatial qui me fait rêver depuis tout petit. De plus, ce stage m'a permis de définir encore un peu plus précisément mon projet professionnel. Ainsi je ne me sens pas vraiment attiré par le travail en supply chain, les relations avec les fournisseurs, la gestion de l'approvisionnement, la gestion des flux transitant dans l'entreprise ne m'intéressent pas. En revanche, je pense qu'un rôle d'ingénieur au bureau d'étude ou en tant que chef de projet me correspondrait plus. En effet, j'apprécie le challenge technique et scientifique que doit mener l'ingénieur d'étude, tout comme j'aime beaucoup la gestion d'équipe, les questions de management et d'organisations à traiter par un ingénieur chef de projet. Mon expérience chez Turbotech m'a ainsi donné envie d'en savoir plus sur ces fonctions ce que j'espère pouvoir faire lors de mes futurs stages. Maintenant que j'ai appréhendé l'environnement de la petite entreprise, j'aimerais aussi pouvoir connaître une expérience professionnelle dans un grand groupe pour pouvoir comparer ces deux modes de fonctionnement et trouver celui qui me conviendrait le mieux.

## Annexes 1 : Figures

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Vue en coupe du turbopropulseur avec la turbine régénérative ..... | 4  |
| Figure 2 : Turbopropulseur .....                                             | 6  |
| Figure 3 : Turbogénérateur .....                                             | 6  |
| Figure 4 : Organigramme de la société .....                                  | 8  |
| Figure 5 : Plan du site .....                                                | 10 |
| Figure 6 : Zone de mise au banc.....                                         | 10 |
| Figure 7 : Atelier de montage.....                                           | 10 |
| Figure 8 : Exemple d'Instruction de Travail .....                            | 11 |
| Figure 9 : Moteur monté sur le banc d'essai .....                            | 11 |
| Figure 10 : Moteur en phase de test .....                                    | 12 |
| Figure 11 : Instruction de Travail réalisée .....                            | 12 |
| Figure 12 : Moteur en caisse de transport .....                              | 13 |
| Figure 13 : Modélisation d'un intercalaire .....                             | 13 |
| Figure 14 : Modélisation de la caisse de transport avec le moteur .....      | 13 |
| Figure 15 : Modélisation de la caisse de transport vide.....                 | 13 |
| Figure 16 : Plan 2D d'un intercalaire .....                                  | 13 |
| Figure 17 : Plan 2D de la caisse de transport .....                          | 13 |
| Figure 18 : Plan d'action de l'atelier .....                                 | 14 |

## Annexe 2 : Glossaire

TP : Turbopropulseur

TG : Turbogénérateur

DO : Direction Opérationnelle

DT : Direction Technique

IT : Instruction de Travail

ERP : Enterprise Resource Planning

OF : Ordre de Fabrication

PEM : Pièce Entrée Montage

PIF : Pièce Intermédiaire de Fabrication

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile