

BE1
options A, E ou T

Laurent PERAULT

Aérodynamique des lanceurs

(en collaboration avec ArianeGroup - Les Mureaux)

Très peu de pays ont développé un système de tirs de missiles balistiques à partir d'un sous-marin. Pour conserver une invulnérabilité, il faut que le sous-marin effectue le lancement sans refaire surface au préalable. Ce lancement en plongée d'un engin de plus de dix mètres de haut et d'une masse de plusieurs dizaines de tonnes n'est pas sans poser de nombreux problèmes. Pour le développement du lanceur M51 ArianeGroup a utilisé une approche basée sur des simulations numériques avec pour objectifs de réduire les coûts de développement et de mieux maîtriser les marges de conceptions. C'est dans le cadre de ce projet que s'inscrit ce bureau d'études.

Une première partie permettra de se familiariser avec la méthode des singularités. Des modélisations bidimensionnelles d'écoulements instationnaires seront développées autour de profils d'ailes : répartitions de pressions, coefficients aérodynamiques...

La deuxième partie se fera en collaboration avec ArianeGroup aux Mureaux (Yvelines). Elle consistera à calculer les coefficients aérodynamiques et la trajectoire de torpilles lancées horizontalement à partir d'un sous-marin (de type missile de croisière Scalp Naval), les diagrammes de tirs permettant d'optimiser la sortie d'eau et l'intégration d'un système de pilotage et des efforts de propulsion. Si les contraintes sanitaires le permettent, nous nous déplacerons aux Mureaux et à Vernon pour visiter les deux sites industriels (en particulier l'assemblage de l'étage principal d'Ariane 5 et la production du moteur Vulcain) et pour rencontrer des ingénieurs (anciens ENSMA) qui préciseront le travail à effectuer dans le cadre du bureau d'études. Ils accompagneront les différents binômes en se déplaçant une ou deux fois à l'ENSMA.



BE 2 : ANALYSE AERODYNAMIQUE **D'ÉCOULEMENTS** ET DE TRANSPORTS URBAINS

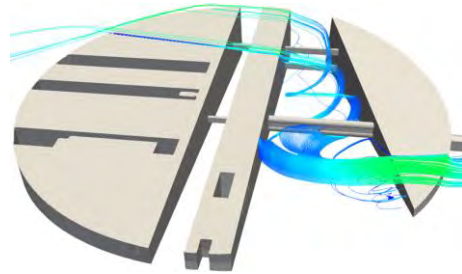
ENCADREMENT ENSMA : G. MOLDOVAN, M. MELDI, J. BORÉE

ENCADREMENT TECHNIQUE EN SOUFFLERIE : F. PAILLÉ

SUIVI INDUSTRIEL & ACADEMIQUE : S. AGUINAGA ET Y. HAFFNER (CSTB), A. GLUMAC (LEGATO TEAM, LUXEMBOURG)



Cabine de transport urbain



Ecoulement autour de l'ENSMA (BE 2020).

Le suivi par les ingénieurs du CSTB et les chercheurs académiques consistera en des points **d'étapes réguliers** (présentations, visio et si possible visite au CSTB de Nantes). Notre objectif est de vous rendre vraiment acteur et force de proposition.

Transport Urbain par câble :

Le transport par câble fait partie des alternatives pouvant offrir des réponses performantes pour la réduction des nuisances, des émissions de polluants et de gaz à effet de serre. Les conditions aérodynamiques sont toutefois très spécifiques car les cabines sont suspendues et donc mobiles !! En interaction avec le CSTB, **acteur du domaine, l'objectif de notre bureau d'étude** sera de mettre en lumière et quantifier, sur des expériences modèles à échelle réduite en soufflerie S120, les paramètres clés de cette aérodynamique instationnaire en situation de vent constant et uniforme. **Le groupe s'organisera en deux trinômes** qui associeront expérience et simulation numérique. Des modèles adaptés seront conçus, calculé sous Openfoam et testés en soufflerie. On testera une métrologie dédiée permettant de déterminer la sensibilité aérodynamique des cabines considérées.

Ecoulements urbains :

L'utilisation des nouvelles technologies dédiées au développement durable et à la production **d'énergie** verte a sensiblement augmenté dans les derniers 10 ans grâce à **la sensibilisation sur des aspects cruciaux comme l'utilisation de ressources propres et le réchauffement global**. Dans ce cadre, le développement des bâtiments eco-intégrés **et l'analyse des écoulements** entraînées **est un nouveaux axes d'intérêt** très récent de la mécanique des fluides pour favoriser une construction durable et éco-responsable

Dans le cadre de ce BE, **l'écoulement au tour des bâtiments sera analysé grâce** à la simulation numérique CFD en utilisant le code opensource OpenFOAM. Les deux binômes qui travailleront sur ce sujet devront effectuer de nombreux tests de sensibilité sur les paramètres les plus importants des cas tests (maillage, modèle de turbulence, **conditions limites**) **afin d'analyser le comportement de l'écoulement**. **L'analyse sera effectuée sur des géométries progressivement plus complexes.**

Calcul d'écoulements aérodynamiques autour d'ailes d'avion Initiation au Code de Calcul Star-CCM

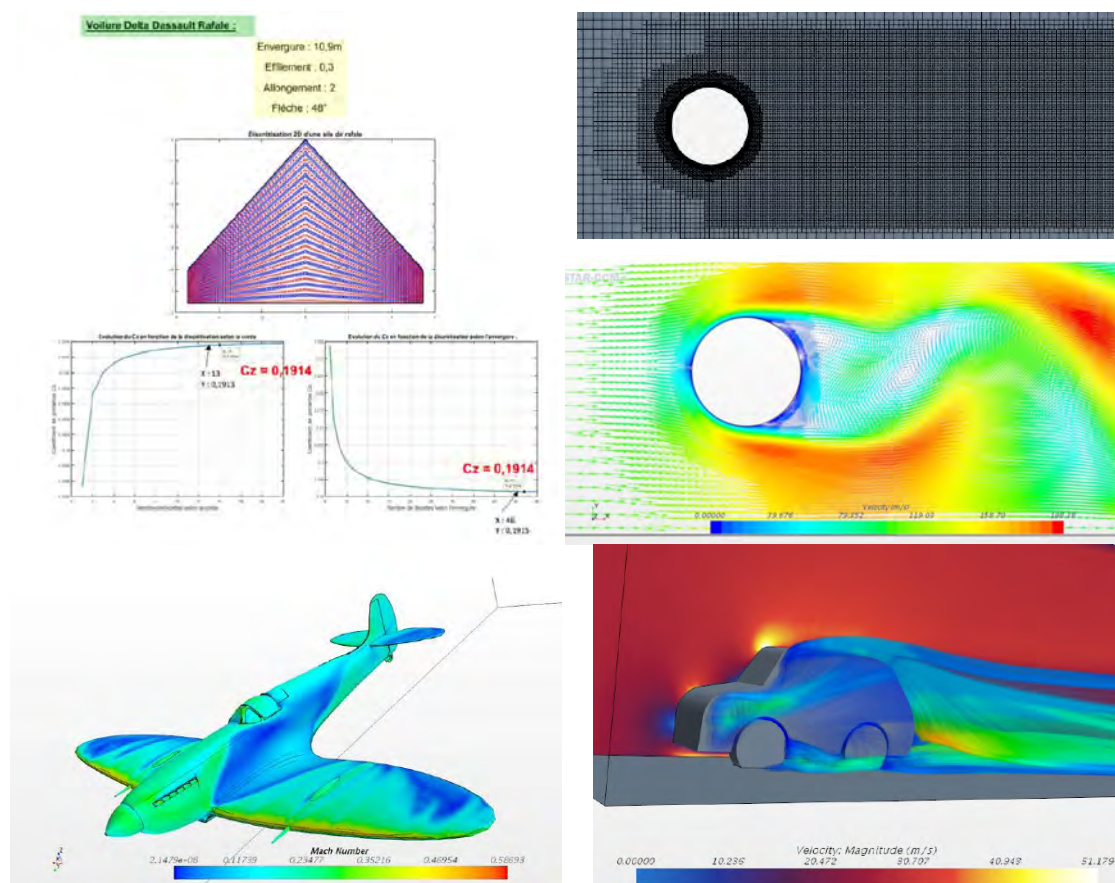
Intervenants : M. BA

Ce bureau d'étude se déroule en 2 parties :

La première partie concerne la mise œuvre de méthodes et **outils de conception aérodynamiques pour la définition de formes d'aile d'avion** au stade d'*avant-projet* ou de *projet* : Ligne Portante, Surface Portante, Méthode des Singularités 3D.

La seconde partie porte sur l'initiation à un code industriel (**STAR-CCM**) prenant en comptes **les effets visqueux du fluide** et le **caractère turbulent** de l'écoulement. Les élèves vont se familiariser aux problèmes de maillage, de convergence de calculs, de choix de modèles de turbulence et de validation de résultats sur des configurations typiques. Ils terminent par des simulations d'écoulements autour d'avion ou de voiture.

Quelques résultats de l'année dernière :



Liste des outils :

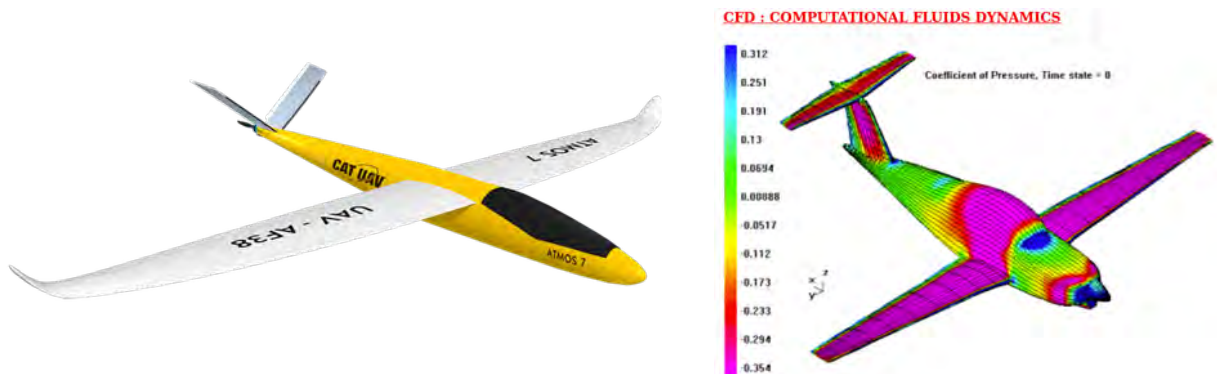
- **TECPLOT** pour l'exploitation des résultats,
- Code industriel de Mécanique des Fluides : **STAR-CCM**.

BE4

Conception aérodynamique d'un drone de surveillance

Enseignants : A. Spohn, C. Sicot, E. Goncalves da Silva

Projet en partie commun avec le département MSISI (Y. Pannier et J.C Grandidier)



Drone de la société ATMOS et simulation du champ de pression autour d'un avion

Malgré le champ d'applications toujours croissant des drones à rotor, les appareils à voilure fixe restent un outil indispensable dans de nombreux domaines. Ils se prêtent particulièrement bien à des surveillances de longue durée comme l'inspection de lignes électriques ou de zones dangereuses par exemple pour alerter en cas de départ d'un feu de forêts. En agriculture, le survol des champs par des drones est utilisé pour cartographier l'état des cultures afin de minimiser le dosage des traitements chimiques. Pour mener à bien ces missions, la mise en œuvre de ces appareils doit être particulièrement simple. Ceci implique notamment la possibilité d'un décollage à main et d'un atterrissage dans un champ court en herbe. Il est également souvent nécessaire de disposer d'une endurance supérieure à 1 heure de vol et d'une distance franchissable supérieure à 100 km.

Dans ce bureau d'études, on cherchera à concevoir un drone de surveillance similaire à celui présenté sur la figure. Le projet comportera, comme dans une démarche industrielle, trois phases allant de la conception préliminaire jusqu'à l'optimisation des détails de la configuration retenue. En outre ce BE aérodynamique profitera de l'interaction avec une équipe du bureau d'étude conception avion (Y. Pannier et J.C Grandidier) pour la prise en compte des aspects structuraux. Il s'agira de tenir compte des contraintes imposées par l'aérodynamique et la structure.

Pour la partie aérodynamique les trois phases envisagées sont :

Phase 1 :

A partir d'un cahier des charges sommaire, il s'agit d'établir la géométrie caractéristique de l'appareil. Cette partie fait appel à des notions de mécanique du vol et d'aérodynamique. Les résultats de l'avant-projet seront échangés avec l'équipe structure et ajustés en fonction des données issues du prédimensionnement structurel.

Phase 2 :

A l'aide du logiciel OpenVSP la conception aérodynamique sera approfondie. Notamment l'aile sera optimisée et la configuration du fuselage analysée. A cet effet OpenVSP permet de comparer efficacement plusieurs options de conception (géométrie de l'aile, arrangement de l'empennage, etc.). A l'issue de cette phase, les données seront à nouveau échangées avec l'équipe structure et ajustées en fonction des contraintes structurelles. La synthèse de cette étape permettra de définir un aspect particulièrement intéressant pour une étude plus détaillée par CFD.

Phase 3 :

Cette dernière phase permet de compléter la chaîne classique d'un bureau d'étude aérodynamique pour aboutir à la conception finale. En utilisant le logiciel industriel STAR CCM+, on cherchera à optimiser un aspect particulièrement délicat à dimensionner, par exemple le bout d'aile ou la jonction aile-fuselage. L'objectif est d'illustrer le potentiel mais aussi les difficultés inhérentes à une telle démarche. La synthèse devra permettre de présenter une géométrie finale de l'appareil.

En collaboration avec l'équipe structure la session finale sera consacrée à la présentation de l'ensemble des résultats pour justifier la conception proposée.

BE5 : CONTRÔLE THERMIQUE DES SATELLITES

PARTENAIRE INDUSTRIEL :

Lilian Govone (*Société Airbus Defense and Space*)

RESPONSABLES : Yves Bertin

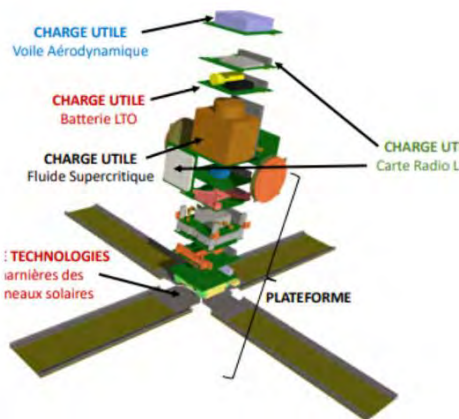
Gildas Lalizel

THEME :

La température d'un objet dans l'espace (hors atmosphère) peut atteindre des valeurs très élevées (+150 C) ou très basses (-100 C) selon qu'il reçoit ou non du flux solaire et/ou selon les caractéristiques thermo-physiques de son revêtement (absorbeur ou réflecteur radiatifs). Certains composants des satellites (cellules solaires, boîtiers électroniques, réservoir de carburant, batteries...) ne fonctionnent correctement que dans des plages de températures relativement restreintes.

Il est donc impératif de **dimensionner thermiquement un satellite** pour que les spécifications de températures de tous ses composants soient toujours respectées quelle que soit sa position sur son orbite autour de la terre.

L'ISAE-ENSMA participe activement au projet cubesat accompagné par le NAASC (Nouvelle Aquitaine Academic Space Center) en partenariat avec Les Arts et Métiers, INP Bordeaux (ENSEIRB et MATMECA), ESTIA et Sciences Po Bordeaux. Le Cubesat est un modèle 3U, soit 3 unités comprenant 4 expériences indépendantes : une voile aérodynamique, un fluide supercritique, une batterie innovante et un IOT.



Au cours de ce bureau d'étude, vous dimensionnerez thermiquement ce satellite au cours de sa durée de vie. En effectuant des simulations numériques avec le code *SYSTEMA THERMICA* développé par *Airbus Defense and Space*, vous déterminerez la composition des revêtements conduisant à un dimensionnement correct en fonction des cas chauds et froids, des dissipations thermiques de chacune des expériences, etc...

MOYENS DISPONIBLES : Tous les programmes de calculs nécessaires pour déterminer les répartitions de température sont disponibles sur station de travail. Une formation à l'utilisation de *THERMICA-SYSTEMA* (calcul des flux radiatifs, développé par Airbus Defense & Space) sera réalisée par un ingénieur Thermique de Airbus Defense & Space. Au cours de ce travail, on se familiarisera avec la thermique spatiale instationnaire, le « ray-tracing » et l'utilisation de la méthode numérique du type nodale, particulièrement adaptée pour le calcul des températures d'un système énergétique. De plus, l'outil de simulation StarCCM+ sera utilisé pour le calcul des conductances de conduction de géométrie complexe.

BE6 : OPTIMISATION ENERGETIQUE D'UN GROUPE MOTO-PROPULSEUR HYBRIDE

Problématique, Modélisations AMESim et GT-Power, Expérimentations

L'objectif du BE est d'acquérir une compréhension globale du comportement énergétique d'un groupe moto-propulseur hybride (thermique et électrique) à partir d'une **approche système**.

Les résultats des modèles seront confrontés à des résultats expérimentaux provenant d'essais qui seront réalisés sur le **banc moteur** pédagogique de l'ENSMA.

La **modélisation thermique** nodale de l'architecture de la machine électrique sera réalisée sous **AMESim** et la **modélisation énergétique** du groupe motopropulseur hybride sera mise en place sous **GT-Power**.

Lors de l'**étude**, des voies technologiques d'**optimisation** seront recherchées dans le but d'améliorer le management thermique (températures critiques) et énergétique (performance) d'un système hybride.

Le groupe moto-propulseur hybride modélisé (moteur thermique, machine électrique et batterie) servira ensuite de support pour un **challenge** d'optimisation énergétique du système en lien avec une mission à réaliser (cycle normalisé d'homologation véhicule par exemple).

Le déroulement du BE est organisé autour d'une formation initiale, de deux projets avec visite(s) et interventions d'industriels.



Groupe moto-propulseur hybride Formule 1



Groupe moto-propulseur hybride projet avion Voltaéro

Encadrement :
Etienne VIDECOQ
Jean-Marie PETIT
Julien SOTTON

Alain LEFEBVRE et Pierre BOURBOTTE (Ingénieurs Renault et Alpine F1)
Matthieu PONCHANT (Ingénieur Siemens/AMESim)
Nicolas CHAURIS (Ingénieur SAFT)



BE7:MODELISATION D'UN TURBOREACTEUR SIMPLE FLUX

Décarbonation et amélioration de la performance environnementale

Encadrants : Zakaria Bouali, Ashwin Chinnayya

@ : zakaria.bouali@ensma.fr ; ashwin.chinnayya@ensma.fr

L'objectif de ce bureau d'études est d'étudier et d'analyser les performances d'un turboréacteur simple flux simple corps, à partir de données de la littérature et des cartes "constructeur". Le turboréacteur possédera les caractéristiques du moteur General Electric J-85, équipant les avions d'entraînement Northrop Talon T-38A.

Dans un premier temps, une modélisation de ce turboréacteur devra être effectuée. Elle a pour but de restituer les principales caractéristiques de l'écoulement au cours de son passage à travers les différents plans du moteur (Fig. 1), en fonction des données thermodynamiques, des caractéristiques des différents composants de ce réacteur et des conditions de vol.

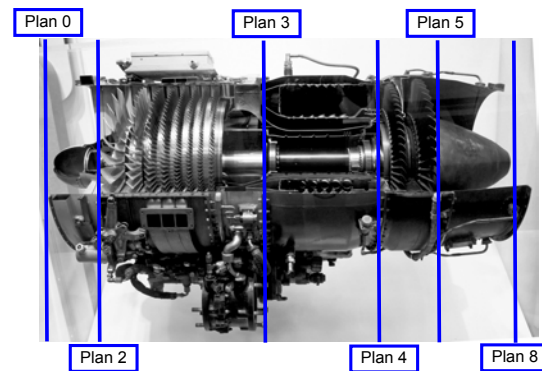


FIGURE 1 – General Electric J-85

Dans un second temps, nous allons nous intéresser à l'amélioration des performances de ce turboréacteur J-85 en terme d'économie de consommation de carburant et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Une piste prometteuse pour réduire la consommation consiste à modifier le mode de combustion. Ainsi, remplacer la combustion isobare (Fig. 2-Cycle de Brayton) par une combustion à volume constant (Fig. 2-Cycle de Humphrey) qui permet une compression supplémentaire au sein de la chambre de combustion, et par voie de conséquence, un rendement plus important de plus d'une dizaine de points.

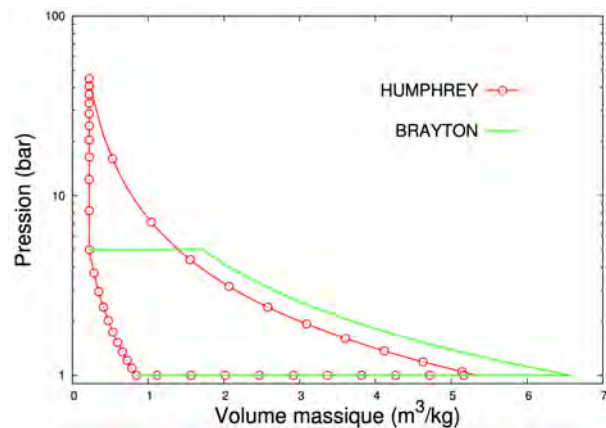


FIGURE 2 – Diagramme de Clapeyron (P,V)

Par ailleurs, le modèle de turboréacteur développé pourra servir à l'évaluation des performances environnementales résultant de l'utilisation des carburants alternatifs (hydrogène, éthanol-E85 ...) à la place du Kérosène d'origine fossile.

Cette étude numérique, sera réalisée au moyen des logiciels de calcul scientifique Matlab ou Python.

BE 8: DIMENSIONNEMENT D'UNE MICROTURBINE

Modélisation système et simulation CFD de la chambre de combustion

Encadrant : Zakaria Bouali

@ : zakaria.bouali@ensma.fr

Encadrant externe : Jonathan Cormier (ISAE-ENSMA, Dép. Physique et Mécanique des Matériaux)

Ce projet s'inscrit dans une stratégie globale de transition énergétique qui a comme objectif de réduire les émissions de carbone induites par les activités humaines. Dans ce contexte, un des principaux leviers est de remplacer les combustibles d'origine fossile par un certain nombre de vecteurs énergétiques tels que (i) l'hydrogène décarboné et (ii) les batteries chargées d'électricité décarbonée. Pour sensibiliser nos futurs ingénieurs à cette thématique, nous souhaitons les initier à la conception d'une microturbine alimentée par un mélange hydrogène-air, qui sera destinée à la propulsion de petits systèmes tel un drone. Ce projet transverse sera réalisé dans le cadre de deux BE qui se complètent mutuellement : (1) celui détaillé dans cette fiche s'intéressera prioritairement au dimensionnement de la chambre de combustion ; (2) et le second s'intitule "Thermo-mechanical durability of superalloys for gas turbine applications" s'intéressera au dimensionnement de la turbine.

Déroulement du BE orienté "Energétique"

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à l'évaluation des performances de la microturbine retenue par le biais d'une approche zéro-dimensionnelle (approche système). Dans un second temps, nous nous focaliserons sur la modélisation 2D-3D de la chambre de combustion dans le but (i) d'évaluer les contraintes et les gains liés à l'utilisation de l'hydrogène, (ii) de dimensionner la chambre de combustion en tenant compte des contraintes thermo-mécaniques imposées par la turbine et (iii) d'optimiser la géométrie de la chambre et la position des injecteurs.

Pour mener à bien cette étude, le groupe de ce BE travaillera en étroite collaboration avec celui du BE orienté "Structures et Matériaux avancés".

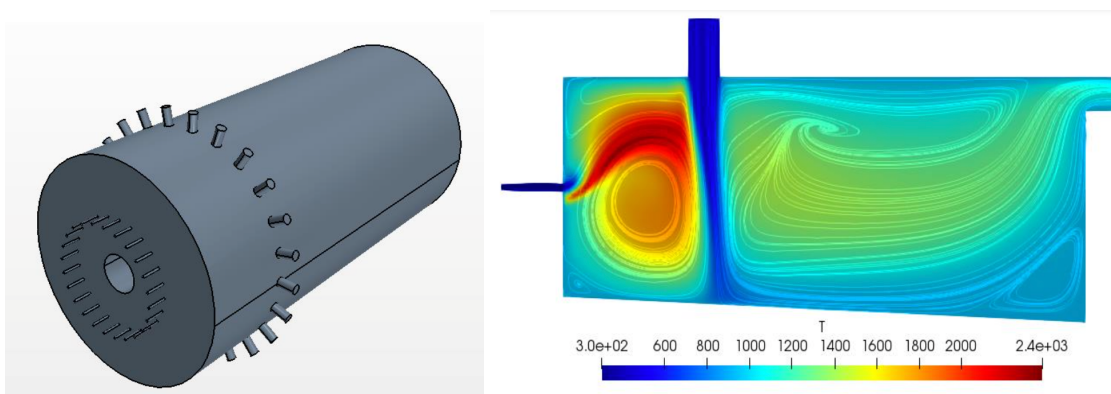


FIGURE 1 – A gauche, CAO de la microturbine et à droite, champ de température en coupe radiale

Outils : Python, Cantera (modélisation 0D et 1D) ; OpenFoam ou STAR-CCM + (modélisation 2D et 3D).

BE 9: Moteur fusée à ergols liquides pour le projet PLUME du NAASC : Calcul, dimensionnement et tests

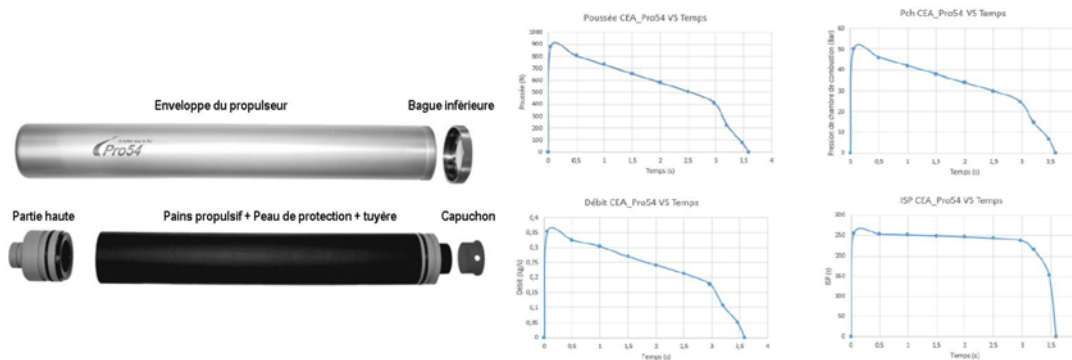
Encadrant : Marc BELLENOUE

Depuis plusieurs années le domaine spatial connaît un essor très important. La course à la réduction des coûts des lancements a entraîné l'apparition de nouveaux acteurs privés comme Blue Origin et Space X.

Une des voies pour réduire le coût des lancements est la ré-utilisation des lanceurs et la simplification de la mise en œuvre d'un lancement. Les systèmes propulsifs à ergols liquides, qu'ils soient cryogéniques ou non, sont alors d'excellents candidats, puisqu'ils autorisent une modulation de la poussée, capacité nécessaire pour la phase d'atterrissage, et de multiples rallumages.

Le projet d'étude s'inscrit dans le cadre du Centre Spatiale Académique de Nouvelle Aquitaine (NAASC : www.naasc.fr) et concerne la motorisation des mini-fusées lancées par Planète Science sur le centre du C'Space. Celles-ci sont classiquement équipées de systèmes propulsifs à ergols solides. Dans le cadre du NAASC il est proposé de réaliser une fusée expérimentale, projet PLUME, utilisant une motorisation bi-liquides. Ainsi, l'objectif est de dimensionner un moteur à ergols liquides stockables respectant la réglementation européenne Reach ayant des performances comparables aux moteurs utilisés par le C'Space.

Dans un premier temps, la reconstruction des performances du moteur BARASINGA, moteur cible à remplacer, a été réalisée.



BARASINGA (PRO54-5G)

Il s'agit maintenant de dimensionner le moteur à ergols liquide. L'oxydant retenu sera du peroxyde d'hydrogène concentré. Le fuel sera soit de l'éthanol soit un substitut de kérosène. Ces couples d'ergols sont étudiés depuis 2014 dans le cadre d'une collaboration entre le CNES et PPRIME (Projet Ergols Avancés : PERGOLA). L'objectif à terme est de réaliser un tel système propulsif et de le fiabiliser par des tests sur les bancs d'essais de PPRIME pour être finalement testé sur une mini-fusée lancée depuis le C'Space.

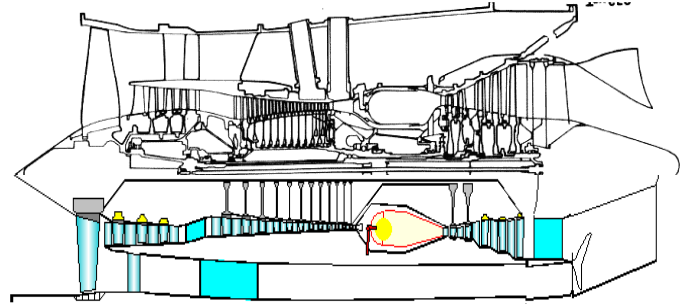
Propulsion aéronautique : reconstitution/conception d'une turbomachine, évaluation d'une architecture électrique

RESPONSABLE : Florent Viro

Le bureau d'études est constitué de deux parties : la première permet la prise en main des logiciels de calcul de performances d'une turbomachine (GasTurb ou NPSS) avec la caractérisation du fonctionnement stabilisé d'un turboréacteur simple flux en fonction des conditions de vol et de l'atmosphère ; la seconde – en plus grande autonomie – traitera l'un des trois thèmes ci-dessous en groupe de 4-5 étudiants.

THEME 1 Reconstitution d'un turboréacteur :

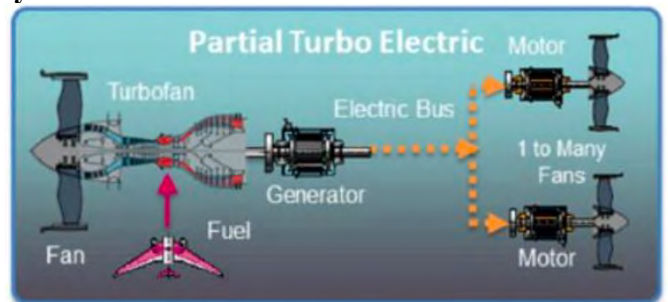
L'objectif du bureau d'études est de modéliser un turboréacteur existant et de proposer un nouveau moteur afin d'améliorer les performances (baisse de la consommation spécifique, du poids et réduction du bruit au décollage notamment). Il s'agit d'une problématique industrielle réelle lorsqu'un constructeur envisage de proposer une nouvelle motorisation sur un aéronef.



Reconstitution d'un TAY-650 (haut : document domaine publique ; bas : modélisation réalisée par les étudiants sous GasTurb) ▲

THEME 2 : Evaluation d'une propulsion électrique/hybride

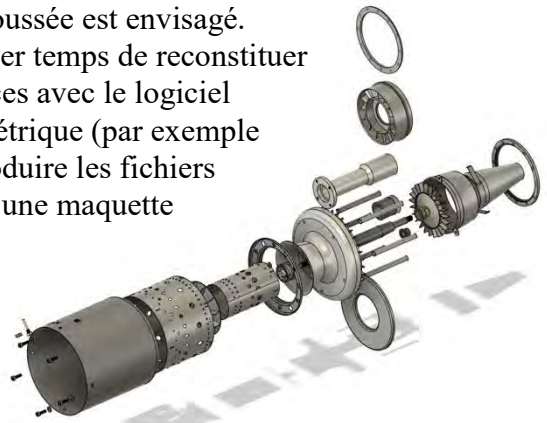
Le projet consiste à proposer une architecture électrique pour remplacer une propulsion traditionnelle utilisant exclusivement l'énergie fossile, ou à faire des appoints/prélèvements électriques via un générateur connecté sur l'arbre moteur pour faire fonctionner la turbomachine à des régimes où les performances sont optimales. Le cahier des charges présentera les besoins de puissance au décollage et en croisière.



THEME 3 : Turboréacteur modélisme.

Pour évaluer le concept de transport de marchandises légères sur des aéronefs autonomes, l'utilisation d'un groupe turboréacteur existant de faible poussée est envisagé.

A partir de plans en coupe fournis, il s'agira dans un premier temps de reconstituer les stations thermodynamiques et d'estimer les performances avec le logiciel GasTurb. Ensuite, la réalisation du modèle CAO 3D paramétrique (par exemple sous Catia) permettra d'évaluer la masse du moteur, de produire les fichiers nécessaires à l'usinage mécanique des pièces pour réaliser une maquette à échelle 1. La modification de la chambre de combustion pourrait être également envisagée afin d'utiliser un autre carburant.



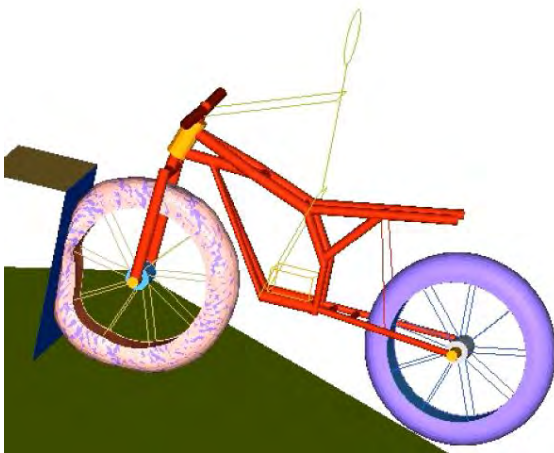
Eclaté de moteur réalisé par les étudiants en 2020-2021 ➤

Option 1 (A T ou E)

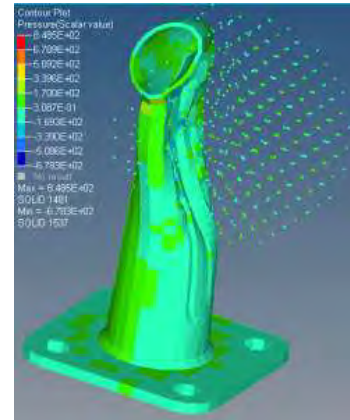
Interventions industriels : Conférences du département R&T d'Airbus et performances et avant-projets de Safran Aircraft Engines (à confirmer)

BE11: Simulation en dynamique rapide avec le code Radioss

Option SMA ou AET



Simulation simplifiée du crash frontal d'une moto



Simulation par la méthode SPH de l'impact d'un grêlon sur un capteur de pression à l'entrée d'un moteur d'avion

Dans ce BE, nous proposons un apprentissage du code **Radioss** pour la simulation de phénomènes de dynamique rapide. Ce logiciel est largement répandu dans l'industrie, et les offres d'emploi qui le mentionnent sont fréquentes. Il permet de simuler la réponse de structures soumises à des chargements mécaniques de type choc (impact, collision, explosion...). Il est notamment utilisé chez la plupart des constructeurs automobiles pour la recherche et le prototypage associés aux **crash-tests**. Dans la défense, l'aéronautique et le spatial (MBDA, Naval Group, Airbus...), il permet de décrire la détonation de charges explosives, les interactions fluides-structures, et d'évaluer la résistance de divers matériaux (notamment composites) à diverses agressions, à très grandes vitesses de déformation. Enfin, la formation à Radioss peut s'étendre très facilement à d'autres outils du même type (Dyna, Pam-Crash, Autodyn...).

Après une présentation générale des utilisations variées de Radioss dans différents domaines, on décrit brièvement les lois régissant la mécanique des ondes de choc dans les solides, et leur mise en œuvre dans le code. Une simulation d'impact de plaque est ensuite traitée en commun, de A à Z, pour une prise en main de l'environnement Radioss (suite logicielle Hyperworks, outils de pré- et post-processing). Les résultats numériques sont analysés et confrontés à des prédictions théoriques. Enfin, chaque binôme traite de façon plus autonome un sujet différent. Certains de ces sujets seront proposés par des partenaires industriels (Dassault, CESVI, CEA...). Les thèmes abordés pourront porter sur la fragmentation de matériaux sous choc, l'impact de grêlon, l'amorçage par choc d'explosifs condensés, le fonctionnement de systèmes pyrotechniques pour lanceurs, le crash d'une moto, etc. Une synthèse finale sera organisée avec présentation par chaque binôme du cas qu'il aura traité.

Au cours du BE, plusieurs interventions d'industriels sont prévues (**Altair**, société commercialisant le logiciel, **Dassault-Aviation**, **CESVI-France**, etc.) pour illustrer leurs problématiques et/ou leur utilisation de Radioss.

Encadrement

Thibaut de Rességuier, Marianne Beringhier, Etienne Barraud, Ekaterina Mazanchenko

Option Principale : II

Responsables :

Yannick PANNIER

Jean-Claude GRANDIDIER

BE12: CONCEPTION ET SIMULATIONS DE STRUCTURES AERONAUTIQUES ET SPATIALES

1^{ère} sujet : CONCEPTION D'AERONEF PAR APPROCHE SYSTEMIQUE : APPLICATION A UN DRONE DE SURVEILLANCE ELECTRIQUE ET UN AVION CARGO A VOILURE RHOMBOEDRIQUE

Projet en liaison directe avec le BE aéro (A. Spohn-C. Sicot- E. Goncalves)

La conception des structures aéronautiques utilise des outils classiques de calculs analytiques et de simulation numérique. Une étape cruciale du projet porte sur le pré design, les choix d'architecture, la formalisation des missions, le choix de la

chaîne énergétique, des outils de pré dimensionnement, les répartitions de masse.... Cette étape intrinsèquement pluridisciplinaire nécessite une approche systémique. C'est pourquoi ce BE sera en interaction permanente avec le bureau d'étude conception aéro avec plusieurs étapes d'itérations entre l'aérodynamique et la structure. Au travers de deux applications un des objectifs du bureau d'étude sera de formaliser cette étape amont de conception sous la forme d'un outil EXCEL efficace documenté et utilisable par les prochaines promotions et d'appliquer cet outil pour initier la conception des aéronefs suivants :

DRONE DE SURVEILLANCE ELECTRIQUE

Malgré le champ d'applications toujours croissant des drones à rotor, les appareils à voilure fixe restent un outil indispensable dans de nombreux domaines. Ils se prêtent particulièrement bien à des surveillances de longue durée comme l'inspection de lignes électriques ou de zones dangereuses par exemple pour alerter en cas de départ d'un feu de forêts. En agriculture, le survol des champs par des drones est utilisé pour cartographier l'état des cultures afin de minimiser le dosage des traitements chimiques. Pour mener à bien ces missions, la mise en œuvre de ces appareils doit être particulièrement simple. Ceci implique notamment la possibilité d'un décollage à main et d'un atterrissage dans un champ court en herbe. Il est également souvent nécessaire de disposer d'une endurance supérieure à 1 heure de vol et d'une distance franchissable supérieure à 100 km. Dans ce bureau d'études, on cherchera à concevoir un drone de surveillance comme par exemple celui présenté sur la figure. Le projet comportera, comme dans une démarche industrielle, trois phases allant de la conception préliminaire jusqu'à l'optimisation des détails de la configuration retenue. Les 3 phases du projet seront menées simultanément entre aéro et structure avec des revues d'avancement entre chaque phase.



Phase 1 : A partir d'un cahier des charges sommaire, il s'agit d'établir la géométrie caractéristique de l'appareil. Cette partie fait appel à des notions de mécanique du vol et d'aérodynamique et de structure. Il y'aura bien évidemment des compromis à trouver avant de se concentrer sur une architecture. Les résultats de l'avant-projet seront échangés avec l'équipe aéro et ajustés en fonction des données issues du prédimensionnement structurel. L'objectif pour la fin de cette phase est de donner un premier devis de masse et une première idée de la structure. Un autre objectif est de formaliser le lien cahier des charges / prédimensionnement dans un but de construire un modèle paramétrique.

Phase 2 : A l'aide du logiciel Abaqus et 3D Experience la conception de la structure sera approfondie. Notamment l'aile sera optimisée et la configuration du fuselage analysée. A l'issue de cette phase, les données seront à nouveau échangées avec l'équipe aérodynamique et ajustées en fonction des contraintes soulevées. La synthèse de cette étape permettra de définir un aspect particulièrement intéressant à étudier dans la phase 3.

Phase 3 : Plusieurs points de détail seront abordés pendant cette phase. Etude détaillée d'un composant sous Abaqus en ré-appliquant les nouveaux champs de pression issus de la phase 2. Calcul des champs de pression avec 3D experience et comparaison avec les résultats de l'équipe aéro. Mise au point d'un calcul aéroélastique avec le logiciel 3D experience.

AVION CARGO A VOILURE RHOMBOEDRIQUE

Depuis trois années l'architecture d'un avion-cargo doté d'une voilure rhomboédrique a été conduite dans le cadre des BE. Il a été montré que la conception d'un tel avion est possible, avec différentes propositions d'architecture et quelques données de masse. L'objectif de ce BE est de reprendre le cahier des charges de cet avion, mieux définir les missions envisagées et analyser les paramètres architecturaux envisageables pour un tel avion. Mener une étude de pré-conception et créer des outils de pré-dimensionnement s'avère maintenant essentiel.

L'objet du BE est d'analyser les travaux des équipes précédentes et de formuler les règles de choix pour : faire les meilleurs choix architecturaux de l'avion - réaliser des simulations de structure sur la plateforme 3D Expérience et mettre en place les simulations fluide structure. Ce travail est à réaliser en concordance avec le drone pour unifier la démarche

Projet JYP'AIR



2^{ème} Sujet : ETUDE D'UNE AUBE DE SOUFFLANTE COMPOSITE SOUMISE A UNE INGESTION D'OISEAU

Nombre d'élèves max : 4

La conception d'une aube FAN composite est complexe car elle doit concilier forte épaisseur dans la zone courante pour la tenue à l'impact et faible épaisseur au bord de fuite pour la performance aérodynamique.

Lors d'une ingestion d'oiseau, la ligne d'impact (trajectoire) de celui-ci passe donc le long de plusieurs variations d'épaisseurs et de propriétés mécaniques. Ces gradients, couplés aux propagations d'ondes de choc et au passage de l'oiseau peuvent entraîner des endommagements plus ou moins conséquents à divers endroits de l'aube en fonction des propriétés locales du composite et de leurs variations plus ou moins rapide.

L'objectif de ce BE est de mettre en place des stratégies d'optimisation des propriétés composites dans l'aube afin de minimiser les dommages, minimiser la masse tout en assurant le fonctionnement de l'objet défini par le cahier des charges.

Au terme de la séance des BEs de l'année 2020-2021, un outil python pilotant ABAQUS a été élaboré pour réaliser cette étape d'optimisation sur une machine de calcul. Il s'agit maint 1) de reprendre ce travail de discuter le critère d'optimisation, 2) étendre l'outil à une optimisation utilisant une ferme de PC, 3) Mettre en place une analyse de type intelligence artificielle en tirant profit de toutes les simulations.



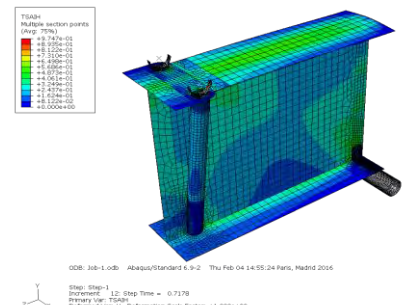
3^{ème} Sujet : CONCOURS SAMPE : CONCEPTION, FABRICATION ET TEST D'UNE STRUCTURE COMPOSITE

Nombre d'élèves max : 4

Ce sujet est proposé par les organisateurs du concours SAMPE (Society for Advancement of Material and Process Engineering).

A partir du cahier des charges, il s'agit de concevoir et de calculer un pont en matériaux composites puis d'en réaliser le prototype. Dans le cadre d'une compétition entre Ecoles et Universités, à partir d'un même kit de matériaux, le travail consiste à réaliser un pont à échelle réduite dont le ratio résistance/poids soit le plus élevé possible. Les ponts en concurrence seront testés en présence des membres de SAMPE France (EADS, Dassault,...) lors des journées techniques. Le pont le plus résistant en fonction du ratio permettra de désigner le vainqueur.

Ce BE permet d'être confronté aux difficultés de conception en lien avec les limites de fabrication. L'optimisation et la performance du pont devront être évaluées par des modélisations successives, des réalisations et des tests sur machine d'essai mécanique. Il constitue une mise en situation du métier de R&D / bureau d'étude dans le domaine de l'aéronautique.



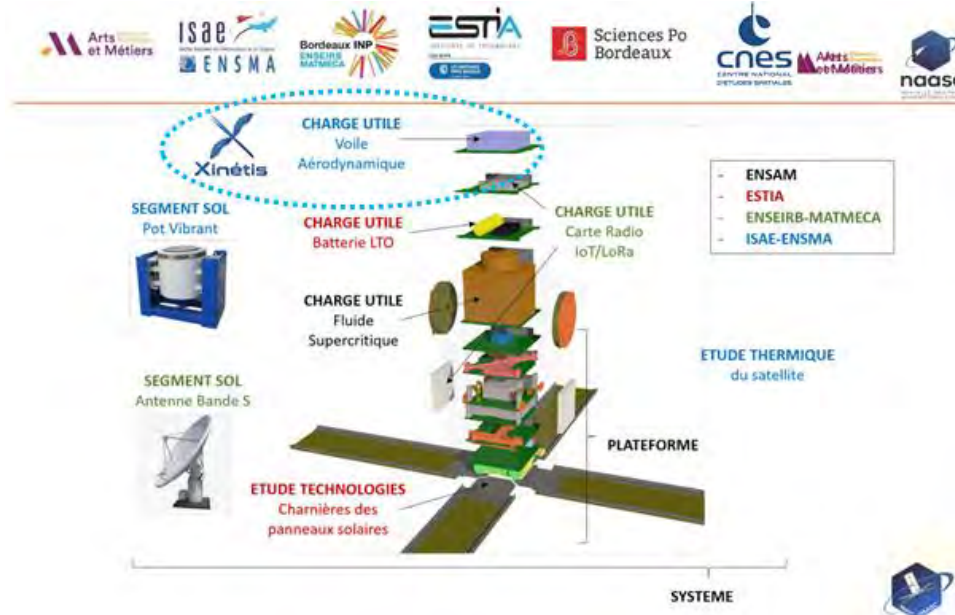
Simulation et fabrication d'un pont en composite C/époxy



4^{ème} Sujet : VOILE SOLAIRE AÉRODYNAMIQUE POUR NANO SATELLITE CUBESAT

Nombre d'élèves max : 6

NAASC : <https://www.naasc.fr/>, Xinétis : <http://xinetis.fr/>, CNES : <https://cnes.fr/>



Ce BE est intégré au projet Nouvelle Aquitaine Academic Space Center (NAASC) en collaboration avec le CNES et la société Xinétis fondée en 2020 par deux étudiants ENSMA.

Xinétis développe une voile aérodynamique (projet ICARE) qui sera intégrée au Cubesat du NAASC en cours développement (voir figure 1). Un Cubesat est un nanosatellite (<10kg) répondant à des spécificités techniques standardisés permettant aux écoles, laboratoires et universités de s'initier aux projets spatiaux et tester certains concepts ou réaliser des expériences embarquées. En normalisant la géométrie, les composants, et les interfaces, le modèle CubeSat a diminué le coût de la construction d'un petit satellite. De plus, ils peuvent être développés en quelques mois ou quelques années contrairement aux satellites habituels dont le développement s'échelonne sur plusieurs années. Par contre, du fait de leur conception (électronique non fiabilisée par exemple), le risque d'un cubesat non fonctionnel ou dysfonctionnant est élevé. La durée de vie d'un cubesat est de quelques mois à 3 ans environ selon les composants embarqués et l'orbite.

ICARE est une voile aérodynamique exploitant un phénomène physique classique, la réduction de vitesse induite par une force de traînée. A la manière des voiles utilisées dans le domaine maritime, ICARE est une voile visant à modifier la **vitesse** de son hôte en utilisant la force induite par le résidu d'atmosphère, quelques molécules par mètre cube, présente en orbite basse. La vitesse orbitale et l'altitude étant liées notre système permet une désorbitation complète en seulement quelques dizaines de jours, contre plusieurs années en conditions normales. L'objectif du BE sera de contribuer à la définition détaillée du système en collaboration avec la société Xinétis. Le sujet porterait essentiellement sur de la simulation par éléments fins, à partir d'un fichier STP fourni en début de BE :

Lot 1 : Recherche documentaire

Appropriation du projet NAASCubesat

Définition des contraintes "ADMISSIBLES"

Lot 2 : Simulation vibratoire

Simulation cyclage thermique

Simulation choc

Lot 3 : Optimisation du modèle initial

BE 13Thermo-mechanical durability of superalloys for gas turbine applications

Coordinators: Jonathan Cormier (ISAE-ENSMA), Jérémy Rame (Safran Aircraft Engines) & Alice Cervellon (ISAE-ENSMA) + one topic in cooperation with Zakaria Bouali (ISAE-ENSMA)

Ni-based superalloys are required for the design of components in the hottest section of aero-engines. Since a gas turbine used for aircraft or helicopter needs to be certified before being in service, a deep understanding of the mechanical behavior and environmental resistance is required to feed the methodologies used in the design departments of engine manufacturing companies like Safran. Moreover, after several years of service, some components may failed unexpectedly, due to either a lack of understanding of the material's mechanical behavior and environmental resistance and/or difficulties in reproducing the true operating conditions of components during service life during their design stage. Within this context, 3 subjects are proposed for the last year project (BE):

Subject 1 (2-3 students): This topic consists in the design of a small gas turbine based on H₂ combustion for drone applications. The design of the high temperature sections, including vanes, blades, disks, etc ... will be required to define if internal cooling of components is required and also to achieve a retro-action with the combustion performances. This project is a transverse one involving students from the energetics field and regular exchanges (at least for each Project day) will be mandatory to achieve a reliable design for an efficient H₂ propulsion system.

Main activities in the project: Review of classical designs of gas turbines, Materials selection, 1D beam-like thermomechanical design, 3D thermo-elasto-plastic FEM calculations

External advisor: Zakaria Bouali (ISAE-ENSMA, Fluids, Thermal and Combustion Department)

Subject 2: The design of turbine blades of helicopters and aircrafts engines requires a robust methodology to account for creep and fatigue interactions, in the very high frequency regime ($f \sim 1$ kHz). One of the main difficulty is when notches are present with the profile (cooling channels, fillet with the platform, etc), leading to stress concentrations and local hot spots where the actual viscoplastic behavior is difficult to account for. In this project, the design of Ni-based single crystalline blades will be performed by finite element modeling (Abaqus CAE) and creep tests at high temperature of these specimens will be done and compared with the model prediction. The main aim of this study will be to achieve a robust prediction of the creep life of notched single-crystalline specimens, knowing the testing conditions, shape of the notch and creep life of smooth specimens (i.e. without any notch)

Main activities in the project: Heat treatment, metallography, scanning electron microscopy, mechanical tests, analysis of microstructure-mechanical properties relationships, Literature review, finite element modeling.

External advisors: Baptiste Larrouy (Safran Helicopter Engines), Antonio Vicente Morales (Safran Helicopter Engines & Institut Pprime)

Subject 3:

Ultrasonic fatigue machines are increasingly used to study the high and very high cycle fatigue regimes due to its high testing frequency (20000 Hz) which enables to reach 10⁹ cycles in less than 14 hours. Such setups also raises interest in aircraft industries because the testing frequency is closer to the resonant frequencies of high-pressure turbine blades (~1000 Hz) than frequencies of conventional fatigue setups (~10 Hz). However, the resonance principle on which it is based – design the specimen and the load frame to make them resonate at 20000 Hz – make these tests more sensitive to material parameters, experimental conditions (temperature, steady load) and small changes in dimensions. This project aims at performing a study of the influence of specific parameters on the specimen's response.

Main activities in the project: 3D thermo-elasto-plastic FEM calculations, literature review, calibration of an ultrasonic fatigue machine

BE 14: Thermo-mechanical durability of superalloys for gas turbine: stability of ultra-fine precipitates at high temperature

Coordinators: Jonathan Cormier (ISAE-ENSMA), Jérémy Rame (Safran Aircraft Engines) & Alice Cervellon (ISAE-ENSMA) + one topic in cooperation with Zakaria Bouali (ISAE-ENSMA)

Ni-based superalloys are required for the design of components in the hottest section of aero-engines. Since a gas turbine used for aircraft or helicopter needs to be certified before being in service, a deep understanding of the mechanical behavior and environmental resistance is required to feed the methodologies used in the design departments of engine manufacturing companies like Safran. Moreover, after several years of service, some components may failed unexpectedly, due to either a lack of understanding of the material's mechanical behavior and environmental resistance and/or difficulties in reproducing the true operating conditions of components during service life during their design stage.

Before being used in service, Ni-based single crystalline specimens used for turbine blade and vanes are submitted to various heat treatments aimed at optimizing their properties. The optimal microstructure usually consist of a single modal distribution of cubical precipitates whose average edge length is of 0.4-0.5 μm . However, due to the complexification of processes, components may be left with bimodal distribution of precipitates consisting with an ultrafine precipitation in between cuboidal precipitates. The aim of this project, which is a continuation of a prior internship between Institut Pprime and Safran Aircraft Engines, will be to investigate the role of such ultra-fine precipitates onto the tensile and creep behavior at different temperatures higher than 750°C and to investigate the stability of these ultra-fine precipitates at high temperature.

Main activities in the project: Heat treatments, Preparation of the specimens, Tension and creep tests, scanning electron microscopy, Image analyzes, Literature review, post processing of mechanical tests.

Bureau d'Etudes 15

Durabilité d'éléments de structure du transport et de l'énergie

Responsable : Gilbert Hénaff

Sujet 1 : Prévion de la durée de vie en fatigue LCF sur des éprouvettes à très fort gradients avec les distances critiques

Information détaillée à venir

Sujet 2 : rupture en service de l'assemblage entre la plateforme d'aube Fan et le disque du compresseur BP

Il s'agit d'une étude de cas concret de fissuration de pièce sur moteur CFM. Le travail demandé consiste à identifier les modes de sollicitations principaux et proposer un scénario de rupture. On cherchera également une solution de réparation et des voies de reconception permettant de prévenir ce type de rupture.



Sujet 3 : Conception d'un banc de perméation sous hydrogène gazeux et sous chargement mécanique (6 étudiants)

Les perspectives de développement de l'hydrogène comme vecteur énergétique imposent de revisiter les connaissances sur les effets de l'hydrogène sur la durabilité des métaux utilisés dans les organes de transport et stockage de l'hydrogène gazeux. En effet l'essentiel des connaissances dans ce domaine a été acquis en travaillant sous chargement cathodique. Or il apparaît nécessaire de prendre en compte certaines spécificités de l'hydrogène gazeux sous pression, notamment concernant les propriétés de perméation. C'est pourquoi, afin de compléter la plateforme expérimentale dédiée HYCOMAT, l'équipe ENDO de l'Institut Pprime souhaite développer un dispositif de caractérisation de la perméation sous chargement mécanique. Le travail peut se dérouler comme suit :

- Etude bibliographique ;
- Etablissement d'un cahier des charges préliminaires avec prise en compte des aspects « sécurité »;
- Dimensionnement des éprouvettes (calculs de diffusion) ;
- Chiffrage du dispositif.

(NB : si engouement particulier autour de ce sujet, d'autres sujets autour de la problématique H_2 , possibilité de proposer d'autres sujets comme la prise en compte des contraintes résiduelles de soudage sur la fissuration assistée par l'hydrogène dans un mélange $GN+H_2$ d'un joint de pipe).

Etude des alliages TiAl

Responsable : Gilbert Hénaff

col.: J. Cormier, SAFRAN Aircraft Engines

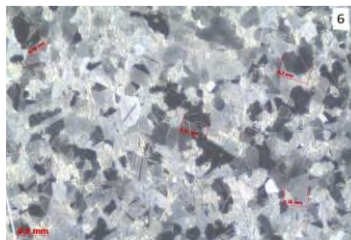
Les alliages intermétalliques TiAl sont actuellement utilisés pour les aubages des derniers étages de la turbine basse pression des turboréacteurs. De ce fait, ils font actuellement l'objet de nombreuses études de R&D afin de réduire les coûts de fabrication et d'optimiser les procédés de fabrication.

Sujet 1 : Étude du gradient de propriétés au sein d'un lingot (4 étudiants max)

Le retour d'expérience en usinage de pièce révèle une usure prématurée des outils liée à la présence d'une croûte à la surface des lingots. On se propose ici de caractériser l'évolution des propriétés, notamment de dureté entre la surface et le cœur du lingot, et de déterminer l'épaisseur de la sous-couche à l'origine des problèmes évoqués. L'étude sera composée : d'une analyse bibliographique, d'essais mécaniques, de caractérisation de microstructures, ainsi que d'une synthèse et analyse des résultats.

Sujet 2: Étude des propriétés mécaniques d'un barreau (4 étudiants max)

L'objectif de cette étude est de caractériser les propriétés mécaniques (dureté, traction, fluage, fatigue) d'un barreau élaboré par un fournisseur spécifique (MetaFensch) et leur variation éventuelle au sein du barreau. L'étude sera composée : d'une analyse bibliographique, d'essais mécaniques, de caractérisation de microstructures, ainsi que d'une synthèse et analyse des résultats, comparaison avec les propriétés mesurées sur un barreau de 2 autres fournisseurs (Gfe, KobeSteel).



BUREAU D'ETUDES 16: Bureau d'études informatique et avionique

Option IA

Les différents sujets de ce Bureau d'étude seront liés aux deux options de la filière Informatique et Avionique (Systèmes et Données). Ils seront déterminés lors de la première séance de ce Bureau d'études.