

**PROMOTION 2023**  
Toulouse INP-ENSIACET



“ Imaginer & Entreprendre  
L'excellence technique au service du climat ”

# Édito de **NALDÉO**

## POUR LA PROMOTION 2023



Entreprise d'ingénierie et de conseil engagée intégralement sur les enjeux du climat, la mission de Naldeo est de réduire significativement l'empreinte de l'industrie et des territoires sur l'environnement. Nous souhaitons ainsi contribuer pleinement aux orientations ambitieuses fixées par l'Europe avec le plan « fit for 55 » et la taxonomie européenne pour limiter le réchauffement climatique à +1,5°C d'ici 2050. Le groupe Naldeo est présent sur 12 sites en France à travers quatre filiales spécialisées : "Ingénierie et conseil", "Technologies et industrie", "Stratégies publiques" et "Digital for climate".

Nous sommes convaincus que la diminution de l'impact sur le climat viendra d'une meilleure utilisation des ressources en eau, énergie ainsi que de la réduction / valorisation des déchets, associé à une bonne exploitation des données. Nos experts, ingénieurs et consultants accompagnent les industriels et les collectivités à chaque étape du cycle de vie des projets, depuis les audits initiaux, études techniques, jusqu'au contrôle d'exploitation, en étant assistant à maîtrise d'ouvrage ou maître d'œuvre.

Naldeo est une entreprise indépendante à taille humaine : nos collaborateurs opèrent dans des projets d'envergure tout en bénéficiant d'un environnement agile et convivial. Nous aspirons à former en continu des profils multi compétents capables de concevoir, innover, produire et manager au service de la transition environnementale.

Multiplier les expériences est primordial pour y parvenir. C'est pourquoi nous avons à cœur d'intégrer des étudiants de Toulouse INP-ENSIACET, avec qui nous partageons l'ambition "d'excellence technique au service du climat".

Nous savons envisager différents types d'intégration : stage, alternance, CDI ainsi qu'en "Graduate program" qui permet aux jeunes ingénieurs de tester plusieurs services et domaines d'intervention. Ils se familiarisent ainsi avec différents sujets et peuvent mieux orienter leur choix de carrière.

Nous sommes ravis et honorés de parrainer l'ENSIACET cette année qui complète notre participation au sein du conseil de perfectionnement de l'école. Notre présence lors d'interventions, principalement en cours et sur les forums, nous permet d'avoir une relation privilégiée et d'échanger, sur des sujets qui nous passionnent tous, avec les étudiants d'aujourd'hui qui seront les héros écologiques de demain.

Nous avons hâte de vous rencontrer, de découvrir vos personnalités et convictions et serons heureux d'accueillir ceux qui veulent rejoindre nos 250 collaborateurs, qui apportent leur expertise sur plus de 1 000 projets chaque année.

# Édito de l'ENSIACET

## POUR LA PROMOTION 2023

En cohérence avec l'objectif de neutralité carbone en 2050 inscrit dans la loi énergie-climat en novembre 2019, et dans le « pacte vert » à l'échelle européenne, de nombreuses évolutions se mettent en place - et vont s'accélérer- dans le tissu socio-économique et industriel. Le 30 Mars 2023, le président de la république annonçait le lancement du « Plan Eau » pour une meilleure gestion des ressources en eau. Dans le cadre ce plan, les industries grandes consommatrices d'eau seront sollicitées afin d'atteindre l'objectif d'une réduction de 10 % des prélèvements en eau d'ici 2030. En parallèle à des phases de remédiation pour certaines activités, de nouveaux ateliers voient le jour partout en France et en Europe pour accompagner la souveraineté industrielle.

Les enjeux environnementaux et les sociétaux et les prises de conscience par le grand public des enjeux climatiques poussent les industriels à reconsidérer leurs activités et à viser la sobriété énergétique, la sobriété matière dont celle liée à la consommation d'eau. Ces mutations nécessitent une connaissance et une capacité à mettre en œuvre des nouvelles méthodes, technologies et nouveaux produits. La décarbonation de l'industrie, le remplacement du carbone fossile, le respect des ressources en eau, la durabilité des matériaux, le développement de procédés chimiques innovants, la mise en œuvre des principes de l'ingénierie circulaire au service d'éco-territoires en développement sont autant de domaines où les ingénieurs de l'ENSIACET ont des compétences fortes.

La société Naldeo groupe, parrain de la promotion 2023, accompagne aujourd'hui les collectivités publiques et les entreprises industrielles vers l'excellence technologies, l'exemplarité environnementale et l'autonomie énergétique. Les ingénieurs de la société Naldeo développent des expertises métiers pointues et innovantes dans le domaine de l'eau, de l'environnement, l'énergie, les déchets et les infrastructures.

La formation ingénieur ENSIACET, école spécialiste dans la transformation de la matière et de l'énergie, intègre plus particulièrement les thématiques environnement et énergie.



Ce livret présente les résumés des stages effectués par les élèves de 3ème année de l'école. A travers ces résumés, vous pourrez constater la richesse et la diversité de ces stages durant lesquels les élèves de l'école ont su démontrer leurs compétences techniques et leur adaptabilité professionnelle. De plus, grâce à la formation pluridisciplinaire et intégrée reçue à l'ENSIACET, ces élèves, ingénieurs de demain, sauront s'intégrer dans leur future entreprise, être rapidement opérationnel dans leur nouveau poste, et ainsi répondre aux problématiques auxquelles ils seront confrontés.

Les nouveaux ingénieurs de la promotion 2023 pourront bien entendu s'appuyer sur la formation acquise à l'ENSIACET pour réussir dans leur 1er poste. Ils pourront aussi par la suite s'appuyer sur le réseau des nombreux ingénieurs de l'ENSIACET, réuni au sein de l'Association des Ingénieurs de l'ENSIACET. Plusieurs ingénieurs diplômés de l'ENSIACET occupant différents postes au sein de la société Naldéo illustrent ces trajectoires ; comme Anne Boggione, ingénieur ENSIACET (ENSIGC) promotion 2000, aujourd'hui chef de projet trajectoires et Transitions durables pour l'industrie ou encore David Dacharry, ingénieur Génie des procédés ENSIACET promotion 2007, chargé d'affaires au sein de l'équipe Ingénierie, Conseil et Innovation.

**Julien ARDOUVIN**  
Président de l'AIA7

**Laurent PRAT**  
Directeur de Toulouse  
INP-ENSIACET

## Matériaux

MAÎTRISEZ LA MATIÈRE !

L'ingénieur ENSIACET « Matériaux » maîtrise les **bases scientifiques, techniques et socio-économiques** pour conduire et élaborer des projets industriels sur la base d'un choix réfléchi des matériaux et des **procédés associés**. Il contrôle et optimise les **propriétés d'usage** de ces matériaux tout au long du **cycle de vie** du produit et jusqu'à son recyclage. Ses connaissances **techniques, théoriques et pratiques** concernent les trois grandes familles de matériaux (métalliques, polymères, céramiques) et leurs composites.



### COMPÉTENCES

- Connaissiez les différentes familles de matériaux
- Maîtrisez l'élaboration et la mise en forme des matériaux pour améliorer leurs procédés de fabrication et leurs propriétés d'usage
- Appréhendez le rôle des liens microstructure – propriétés
- Prévoyez et contrôlez l'évolution des matériaux en service tout au long de leur cycle de vie
- Conduisez des projets pluridisciplinaires

### POINTS FORTS

- Vision globale et complète des différentes familles de matériaux
- Nombreux débouchés dans des secteurs industriels dynamiques et de pointe
- Enseignement interdisciplinaire pour des compétences complémentaires
- Formation tournée vers l'innovation en lien avec la recherche industrielle et appliquée
- Études de cas concrets au cours de travaux pratiques



Impact des conditions de vieillissement sur les propriétés mécaniques et l'adhérence d'un joint de colle

TOULOUSE INP Ensiacet



PLASTIC OMNIUM – Camille BLIVET

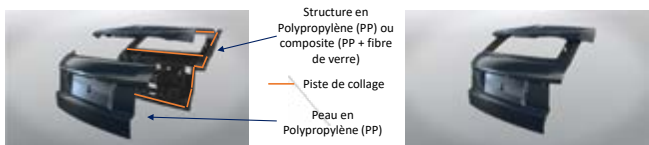
AUBIAT Valentin, IMAT

MI / Fonctionnalité / CONTRAT PRO



OBJECTIFS

**Contexte :** La fabrication de pièces plastiques extérieures pour l'automobile nécessite de s'assurer de la bonne tenue de celles-ci dans le temps. C'est pourquoi il est nécessaire de contrôler, la fiabilité des hayons assemblés par collage chez Plastic Omnium, à l'aide de tests d'adhérence.



Assemblage d'un hayon

Missions :

- Caractérisation physico-chimique d'une colle polyuréthane à l'état initial et comparatif sur les propriétés après vieillissement
- Mise en œuvre d'essais mécaniques à différents stades de vieillissement et corrélation entre les propriétés du joint et tenue mécanique de l'assemblage
- Optimisation du dépôt de colle



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Compréhension :

- État de l'art sur le collage et compréhension du système de colle utilisé
- Analyse des principaux paramètres de réticulation de la colle



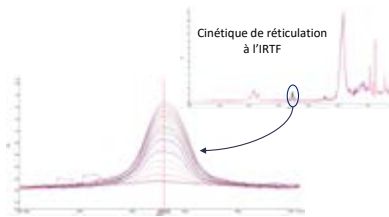
Réalisation de lamelles de colle d'épaisseur contrôlée



Éprouvettes de traction en colle conformes à la norme après découpe à l'emporte-pièce

Optimisation :

- Développement d'une méthode de fabrication d'éprouvette de traction en colle
- Établissement des meilleurs paramètres de réticulation



Validation :

- Caractérisation de la colle et vérification des propriétés physiques et mécaniques
- Test des configurations optimales de collage après vieillissement



CONCLUSIONS

Ce projet a permis d'acquérir une meilleure compréhension des phénomènes de réticulation et d'adhérence sur les systèmes collés. De plus, un nouvel essai mécanique a pu être mis en place au laboratoire, afin de tester mécaniquement une colle seule et non pas le système collé entier (colle et substrat).

Altéance en Banque et Ingénierie Financière à TBS Education - Chargée d'Etudes en Innovation à Bpifrance

TOULOUSE INP Ensiacet



Bpifrance Paris IDF Est – Adrien TREVOUX

Eva BARGETZY, Matériaux

MASTÈRE Spécialisé – Banque et Ingénierie Financière Bpifrance

bpifrance



OBJECTIFS

En tant que Chargée d'Etudes en Innovation, mon rôle est d'accompagner les entrepreneurs. Bpifrance est une banque privée d'intérêt général. Nous accompagnons toutes les structures de la startup à la PME/ Industrie ayant des besoins d'internationalisation. Le Chargé d'Etude travaille en binôme avec le chargé d'affaire pour prendre en charge les clients, mais le portefeuille est propre au Chargé d'Affaire. Une petite part du métier consiste à commercialiser nos différents produits, qui sont des solutions de financement mais cela ne représente pas l'intégrité de notre travail. Une grande partie de notre travail consiste à faire des analyses financières, états financiers et différents audits des sociétés que nous suivons. Nous faisons également de la prospection auprès des grandes écoles et des salons pour trouver nos futurs clients. Par clients, nous entendons toute société proposant une innovation, une rupture par rapport à l'état de l'art et ayant les fonds nécessaires pour débiter un projet. Nos financements contiennent des subventions et des prêts.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

J'ai pu faire plusieurs analyses sur les startups. Ma thèse qui sera examinée par TBS portera sur les foodtech. En effet, ce secteur est très particulier en France. Bien que nous pensons être dans un pays avancé en terme d'innovation autour de la nourriture de nombreuses réglementations interdisent des changements radicaux. Ces changements radicaux seraient pourtant nécessaires à la fois, pour notre santé et pour le changement climatique. Cependant de nombreuses de nos startups font face à un problème majeur, les lois françaises. La société sur laquelle je m'appuie, s'appelle Supreme, et leur produit principal est du foie gras réalisé à part de cellules d'embryons de canards. Cela ne nécessite la mort d'aucun animal, il suffit de prélever quelques cellules à un canard et la suite se passe dans un labo. Pour des raisons éthiques, cette entreprise produit en France mais est contrainte de commercialiser ailleurs comme au Danemark. Pour autant, Bpifrance qui est détenue à 50% par l'Etat et 50% par la Caisse des Dépôts accompagne cette société en mettant à sa disposition de nombreux financements. Ce constat est contradictoire.



CONCLUSIONS

En conclusion, la France doit changer, s'adapter, et évoluer. Nous ne pouvons pas prétendre être un pays innovateur quand nos réglementations empêchent les idées novatrices d'émerger. Le rôle de Bpifrance est primordial pour relancer l'industrie, accompagner les startups et ainsi rester compétitif devant des pays comme les Etats Unis.

Développement de Pièces Métalliques pour la Maroquinerie

TOULOUSE INP Ensiacét



LOUIS VUITTON – Nicolas Strychalski



BASTIEN Marie, IMAT

Fonctionnalité / CONTRAT PRO



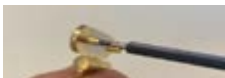
OBJECTIFS

Louis Vuitton, référence du de luxe aujourd'hui, a pour objectifs de vendre sur le marché des produits de prêt à porter, accessoires et maroquinerie de grande qualité, avec une signature propre à la marque.

Les objectifs d'un ingénieur au sein du pôle Développement Pièces métalliques sont de déployer et de suivre des actions permettant l'industrialisation de nouvelles pièces, pour assurer leur bon fonctionnement.

Cela implique :

- Réaliser l'analyse dimensionnelle et esthétique des pièces et contrôler les tests et essais de validation,
- Créer ou modifier des conceptions afin de respecter les cahiers de charges et les exigences du produit,
- Participer à la rédaction et la mise à jour des documentations techniques, et suivre leur développement à l'aide d'outils informatiques de la maison.



Le développeur est donc en constant échange avec les Sourceurs (ingénieurs prototypes), les équipes Achats, Qualité et Chefs de produits ainsi que les différents fournisseurs, dans le but de suivre le développement des différentes pièces produites.

Des sujets d'amélioration continue et de recherche de nouvelles technologies/matériaux sont également menées en parallèle.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Au sein du groupe, j'ai pu développer mes compétences en temps qu'apprentie développeuse. Les collections fonctionnant par trimestre, j'ai tout d'abord appris à avoir un esprit critique sur les pièces développées, (ainsi que sur les techniques de fabrication et de revêtements métallurgiques), à les mettre en tests et à analyser ces derniers. Nous travaillons sur plusieurs projets en même temps (environ une centaine de pièces métalliques par défilé) donc j'ai appris, à travers une organisation rigoureuse, à suivre chacun des développements, leur problématiques, en échange constant avec les équipes sourcing, achat, qualité et chefs de projet.



J'ai également pu développer mes relations avec les différents fournisseurs, appris à collaborer avec eux pour résoudre des problèmes techniques et de délais.



En sujets de fond j'ai aussi pu mener des projets de prospection de nouveaux types de revêtement, d'organisation interne et d'accompagnement fournisseur.



CONCLUSIONS

En définitive, la gestion de projet au sein d'une maison telle que Louis Vuitton permet de progresser en efficacité, en priorisation de tâches, en raison des grandes contraintes de délais, mais aussi en prise de décisions. Cette expérience aura été plus que bénéfique pour développer la communication professionnelle, l'autonomie et l'esprit critique et technique.

Chargée de mission empreinte carbone \_ RSE

TOULOUSE INP Ensiacét



Natural Origins – Bruno PECH



BAZIRE Emilie, IMAT

GSI / I3D



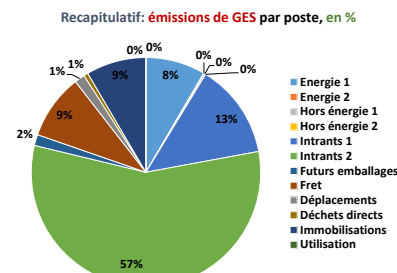
OBJECTIFS

- Réalisation du bilan carbone de l'entreprise pour l'année 2022 (collecte des données, mesure de l'empreinte carbone)
- Sensibilisation des salariés (fresque du climat)
- Préparation de l'audit Fair for Life (réalisation d'un diagnostic biodiversité et mise en place du forfait mobilité durable)
- Calcul de nouveaux facteurs d'émissions des plantes les plus achetées (ACV)
- Réalisation du DUER (évaluation des risques professionnels)



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les émissions de GES de Natural Origins représentent 5 078 tCO2eq en 2022. Les intrants de matières premières végétales sont les plus gros contributeurs avec 57% des émissions totales des GES. Ces émissions représentent : 300 t de CO2 par M€ de chiffre d'affaires. Les scops 1 et 2 sont obligatoires dans la comptabilisation des émissions de la démarche du GHG Protocol. En revanche ils ne représentent que 8% des émissions soit 371 tCO2eq.



CONCLUSIONS

Natural Origins a l'objectif d'améliorer son impact environnemental. Pour cela l'entreprise a commencé par appréhender la répartition de ses émissions, afin de mettre en place un plan de réduction et de compensation. Des actions de réductions sont déjà en places, elles concernent l'achat d'électricité verte, la diminution de la consommation d'eau, la sensibilisation des salariés, la mise en place d'un forfait écomobilité, une AMAP tous les jeudis... Cependant les émissions des intrants (poste le plus important) seront difficiles à réduire car elles ne dépendent pas directement de Natural Origins.

Evaluation et validation de nouveaux traitements de surface pour pièces de radars aéroportés



THALES Defence Mission Systems – Jean-Christophe Ichard



BENOIT Cloé, IMAT

Durabilité, MI



OBJECTIFS

Le stage porte sur 2 projets de R&T concernant les nouveaux traitements de surface pour pièces de radars aéroportés.

Métallisation de polymères

Etude sur pièces complexes métallisées à base d'Ag

**Objectif :** Réduction de la masse des équipements par remplacement de l'aluminium par des matériaux polymères

Challenges de l'étude :

- Blindage électromagnétique
  - Métallisation du substrat
  - Tenue du revêtement métallique
  - Montée en maturité technique et en production (TRL & MRL)
- Coûts
  - Etude technico-économique



Pièce complexe en PEI renforcé de fibre de verre



Pièce métallisée

Synoptique d'essais simplifié :

Vieillissements climatiques

Chaleur Humide 85°C, 85% H.R (30j)	Variation Rapide de Température (-55°C +125°C, 500 cycles)	Brouillard salin aux sulfures (24h)
--	---	--

Essais après vieillissements

Test de blindage	Assemblage sur véhicules de test	Tests d'adhérence	Choc Thermique
------------------	----------------------------------	-------------------	----------------

Nano texturation de l'aluminium

Etude sur éprouvettes en aluminium série 6000 nano texturées par laser

**Objectif :** Test d'une technologie innovante pour ralentir l'apparition du phénomène de corrosion

Challenges de l'étude :

- Hydrophobie
  - Nano texturation
  - Ralentissement du phénomène de corrosion
  - Efficacité par rapport aux traitements anti-corrosion classiques : OASF et passivation



Tâches de corrosion sur une tôle d'aluminium



Surface hydrophobe

Synoptique d'essais simplifié :

Essais climatiques

Chaleur Humide 85°C, 85% H.R (30j)	Brouillard Salin (96h et +)
---------------------------------------	--------------------------------

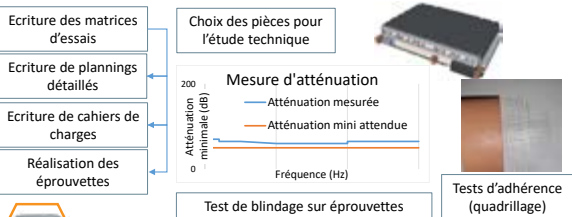
Caractérisation de la surface (avant et après essais climatiques)

Mesures d'épaisseur de traitement	Mesure d'angle de contact
-----------------------------------	---------------------------

Tests à la goutte posée (eau)



PRINCIPAUX RÉSULTATS



CONCLUSIONS

**Métallisation des polymères :** Résultats prometteurs avec mesure d'une atténuation des ondes électromagnétiques suffisante sur éprouvettes métallisées. Tests d'adhérence satisfaisant les exigences THALES.

**Nano texturation de l'aluminium :** Résultats engageants avec forte augmentation de l'angle de contact lors du test à la goutte posée.

Actionneurs électroactifs: Elaboration et caractérisation électromécanique d'élastomères dopés en liquides ioniques



INSA Lyon – Florent Dalmas, Gildas Coativy, Sébastien Livi



BLAIN Axel, IMAT

MI / Fonctionnalité

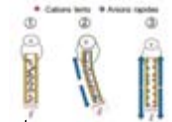


OBJECTIFS

Mon stage se déroule dans le cadre d'un projet de collaboration entre quatre laboratoires rattachés à l'INSA Lyon : les laboratoires IMP, LGEF, Matéls et ElytMax. Ce stage porte sur les matériaux élastomères électroactifs.

Les matériaux élastomères électroactifs se présentent sous forme de films minces souples recouverts d'électrodes. Ils peuvent se déformer sous l'action d'un champ électrique extérieur en compression et/ou en flexion. Cette capacité à se déformer peut être utilisée pour élaborer des actionneurs. Deux mécanismes principaux sont à l'origine de cette déformation : l'effet Maxwell qui est issu de l'attraction mutuelle des électrodes qui recouvrent le matériau et un phénomène lié aux interactions des dipôles électriques constituant le matériau avec le champ électrique appliqué.

Dans ce projet, nous nous focalisons sur un troisième mécanisme pouvant intervenir lorsque des ions sont présents dans l'élastomère. Il s'agit de la migration des ions au voisinage des électrodes et de leur accumulation aboutissant à la flexion du film. (bending)



Mission principale du stage

- Elaborer des films minces contenant différentes fractions de liquides ioniques de différentes natures.
- Etudier le comportement électromécanique des matériaux élaborés par spectroscopie mécanique (DMA), spectroscopie diélectrique et via des tests de fléchissement sous champ électrique constant.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Elaboration de films minces polymère (épaisseur ≈ 300 µm):

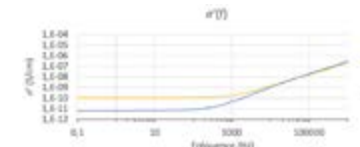
Je réalise des films d'époxy-amine (DGEBA + Jeffamine D2000) au sein desquels sont ajoutés des liquides ioniques de natures différentes afin de déterminer leur impact sur leur réponse électromécanique. Les films sont réalisés par l'intermédiaire d'un moule silicone placé entre 2 plaques métalliques recouverte d'un scotch Téflon.



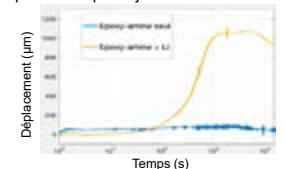
Film mince d'époxy-amine synthétisé

Spectroscopie diélectrique:

Ce test permet d'évaluer les propriétés diélectriques ainsi que la conductivité électrique des différents films. Il est réalisé à différentes températures (entre -80°C et 100°C). On observe notamment que l'ajout d'ions provoque une augmentation de la conductivité électrique à basses fréquences variant selon la nature et la quantité de liquides ioniques ajoutée.



Conductivité de différentes formulations à température ambiante



Déplacement sous champ E = 2 MV/m avec et sans liquide ionique



CONCLUSIONS

Mon stage vise à étudier la réponse électromécanique d'élastomères dopés avec de faibles quantités de liquide ionique sous fort champ électrique. Un protocole permettant de réaliser des films minces a été mis au point et des essais préliminaires ont permis de mettre en lumière l'impact des liquides ioniques sur le fléchissement sous champ électrique des films d'époxy-amine dopés.

## Développement de projets agrivoltaïques



KAIR FRANCE – SYREN GUILLAUME

BONNEVILLE Théo, IMAT

Eco-E0 EPI



### OBJECTIFS

- Découvrir les tâches et objectifs d'un chef de projets agrivoltaïques.
- Comprendre les enjeux du développement de la filière agrivoltaïque.
- Appréhender les logiciels pour le développement de projets photovoltaïques.
- Connaitre et échanger avec les acteurs concernés par les projets agrivoltaïques.
- Compléter ma formation technique dans les énergies renouvelables par un stage me permettant d'analyser en profondeur les forces en jeu sur un territoire et comment se prennent les décisions, au regard du droit et des prérogatives des différentes parties.



### PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Prospection foncière :
  - Identification cartographique de zones à potentiel agrivoltaïque ;
  - Création d'une base de données foncières sur la région AURA ;
  - Prise de contact avec les propriétaires fonciers, les élus et les collectivités locales.
- Réalisation de diverses implantations, respectant les contraintes associées à chaque projet sur le logiciel de calepinage Hélioscope.
- Réalisation d'un dossier de candidature à un appel à manifestation d'intérêt (AMI) sur la commune d'Autun.
- Accompagnement du chef de projet lors des échanges avec les exploitants / propriétaires fonciers et les services de l'état (DREAL, DDT, COMCOM, mairies, chambres d'agriculture).



### CONCLUSIONS

Mon stage dans l'agrivoltisme (secteur innovant des énergies renouvelables) a été très formateur. J'ai pu me rendre compte de la réalité du monde du développement ENR (ses délais, ses contraintes et ses succès). J'ai également eu l'occasion de découvrir et d'échanger avec une grande partie des acteurs territoriaux impliqués dans la réalisation de projets ENR. Enfin, l'approche agricole spécifique à ce type de projets m'a beaucoup plu. En effet, j'ai pu bénéficier d'une ouverture sur le monde de l'agronomie et de l'élevage grâce à mes collègues issus du monde agricole et aux éleveurs associés aux projets que j'ai eu l'occasion de rencontrer régulièrement.



## Développement de matériaux de construction en incorporant des matériaux biosourcés



HOLCIM – RAHOUI Hafsa

BONNIN Salomé, IMAT

Fonctionnalité, MI / CONTRAT PRO



### OBJECTIFS



**Contexte :** Le béton est un composite minéral, il est présent partout et il est souvent vu comme néfaste pour l'environnement et le paysage. Cependant, dans un monde qui se veut plus vert, l'industrie du béton doit évoluer et proposer des produits en harmonie avec l'environnement.

**Objectif :** Développer du béton avec des matériaux biosourcés pour répondre aux enjeux écologiques et pour diversifier les matières premières.

- Compréhension de la nouvelle matière utilisée (matière A\*)
- Impact de l'ajout d'une nouvelle matière dans une matrice cimentaire



### DOCUMENTATION






L'intérêt pour les matériaux biosourcés comme matière première dans un béton a commencé en 2018-2019.

A ce jour, de nombreux béton biosourcés sont actuellement sur le marché mais ne peuvent pas concurrencer les bétons hautes performances. Cependant, ils sont intéressants à utiliser dans les constructions simples, dans des bétons de décorations ou pour l'isolation.



### EXPERIMENTATION

 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trouver un adjuvant compatible avec la matière A</li> </ul> <p>→ Le moins d'adsorption possible de l'adjuvant par la matière A</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas dégrader les propriétés mécaniques</li> </ul> <p>→ Résistance à la flexion → Résistance à la compression</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Etude de la carbonatation du béton</li> </ul> $C_3O \rightarrow C_3(OH)_2 \xrightarrow{-H_2O} C_3CO_3$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse du cycle de vie d'un béton avec la matière A</li> </ul>
---	--	--

\* Pour des raisons de confidentialité, les matières utilisées et les résultats expérimentaux ne peuvent être dévoilés dans ce poster



Développement de poudres pour procédé Rotomoulage

TOULOUSE INP Ensiacét



ARKEMA – MARCOURT Marjorie

ARKEMA

BOUFFANT Matthis, IMAT

Fonctionnalité, Master MECTS

CONTEXTE / OBJECTIFS

Le stockage d'hydrogène est un aspect majeur du développement de la voiture à hydrogène. Durant mon stage je me suis intéressé à la membrane thermoplastique (liner) du réservoir. Elle est réalisée en PA11 grade xx, qui répond au cahier des charges complexe : performance mécanique, environnement de stockage de dihydrogène (pression élevée, plage de température importante). On s'intéresse ici à la mise en œuvre par rotomoulage, dont les pièces ont l'avantage de ne pas nécessiter de soudure (favorise l'amorce de rupture).

Les missions abordées lors du stage sont :

- Rechercher et développer un nouveau grade de poudres polyamides pour le rotomoulage de liners
- Etudier la recyclabilité du matériau commercialisé

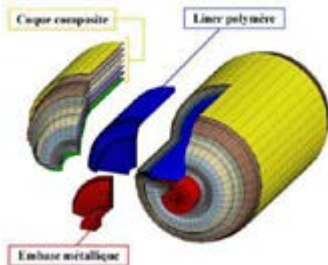


Schéma d'un réservoir à hydrogène

PRINCIPAUX RÉSULTATS : Propriétés des poudres

Viscosité

(Viscosité Métacrésol / Rhéologie)

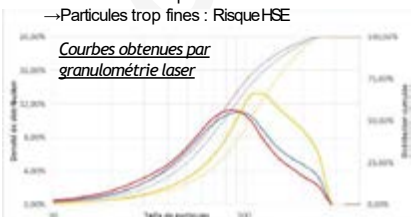
- Trop visqueux : Mise en œuvre difficile
- Peu visqueux : Propriétés mécaniques insuffisantes
- Contrôle de la cinétique de remontée en viscosité pendant le procédé

Granulométrie des poudres

(Granulométrie laser)

- Large distribution de tailles de particules
- Trop grosses particules : impact sur l'état de surface et la cinétique de coalescence
- Particules trop fines : Risque HSE

Courbes obtenues par granulométrie laser



Humidité de la poudre

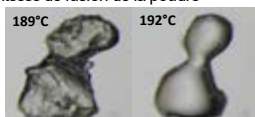
(Titreur Karl-Fisher)

- Séchage de la poudre en étuve avant mise en œuvre
- Une poudre humide peut entraîner l'apparition de bulles dans la pièce et limite la remontée en viscosité
- Une poudre trop sèche remonte trop vite en viscosité et gêne l'écoulement

Coalescence

(Microscopie avec plaque chauffante)

- Interactions entre les particules lors de leur fusion dans le moule.
- Vitesse de fusion de la poudre



Coalescence de 2 grains de poudres PA11

Écoulement de la poudre

- Dépendant de la granulométrie, des interactions électrostatiques entre les particules, de l'humidité...

CONCLUSION

Après la caractérisation des poudres, celles-ci sont mise en œuvre à l'échelle laboratoire. Cela permet de comprendre l'impact des propriétés initiales des poudres et des conditions de mise en œuvre sur les propriétés finales de l'objet et donc de valider ou non le cahier des charges.

Etude des microstructures et des propriétés de rupture des aciers faiblement alliés et leurs joints soudés

TOULOUSE INP Ensiacét



EDF – Alexis GRAUX, Patrick TODESCHINI

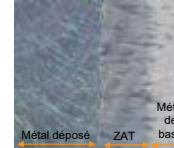


BOUYER Apolline, IMAT

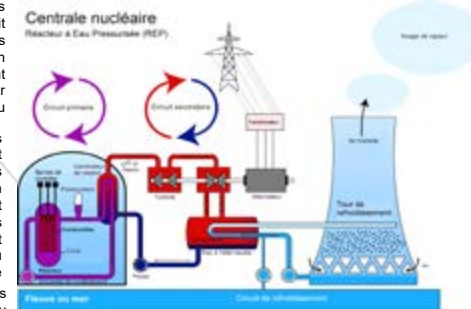
MI / Durabilité

OBJECTIFS

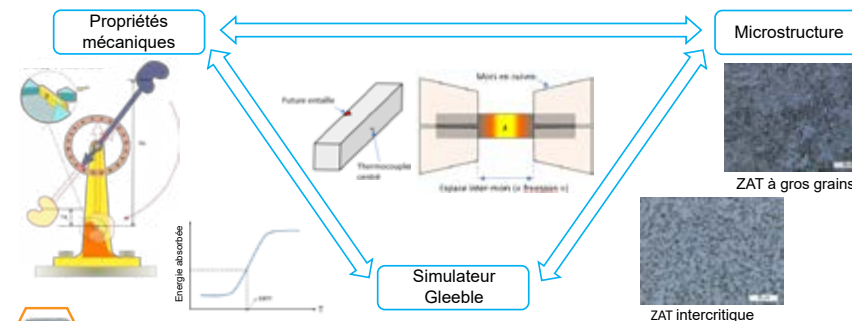
Les aciers de type 16MND5/18MND5 sont des aciers faiblement alliés utilisés pour la fabrication de pièces du circuit primaire de réacteur à eau pressurisée (REP). Ils sont exposés dans la durée à des températures assez importantes en service, jusqu'à 345°C pour le pressuriseur. Ces aciers sont sensibles au vieillissement thermique, ce qui dégrade leur propriétés de rupture par ségrégation intergranulaire du phosphore.



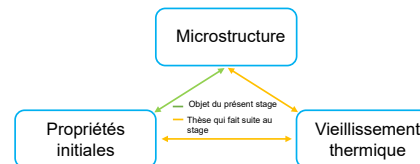
Bien que la microstructure de ces aciers soit principalement bainitique, d'autres microstructures peuvent exister, notamment en Zones Affectées Thermiquement (ZAT) par le soudage. Ces microstructures variées possèdent toutes une sensibilité différente au vieillissement thermique. Ce stage s'inscrit dans un projet visant à établir les relations entre les propriétés initiales, la microstructure, et la sensibilité au vieillissement thermique en ZAT. L'objectif du stage est donc de caractériser les différentes microstructures de ZAT d'une soudure multi-passes dans un premier temps à l'état initial. Pour cela, les différentes microstructures seront recrées par application de cycles thermiques spécifiques, et les courbes de températures de transition fragile-ductile seront établies pour chaque microstructure générée.



PRINCIPAUX RÉSULTATS



CONCLUSION - PERSPECTIVES



Les différentes microstructures caractérisées à l'état initial constitueront l'état de référence pour la caractérisation des microstructures vieilles. La caractérisation des états après vieillissement thermique fera l'objet d'une thèse à la suite du stage.

## RÉDUCTION DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE

TOULOUSE INP Ensiacét

AIRBUS PROTECT – PÔLE PEINTURE – SHARIF DIYANA

BRAIKIA Abia, IMAT

Fonctionnalité, MI

AIRBUS

### OBJECTIFS

En 2019, Airbus a défini une vision nommée High5+ pour réduire son empreinte environnementale d'ici 2030. Ce plan ambitieux se fonde sur une série d'objectifs visant à réduire la consommation d'énergie, les émissions de CO2, les prélèvements d'eau, les émissions de composés organiques volatils (COV) et à améliorer la gestion des déchets, par rapport aux niveaux enregistrés en 2015.

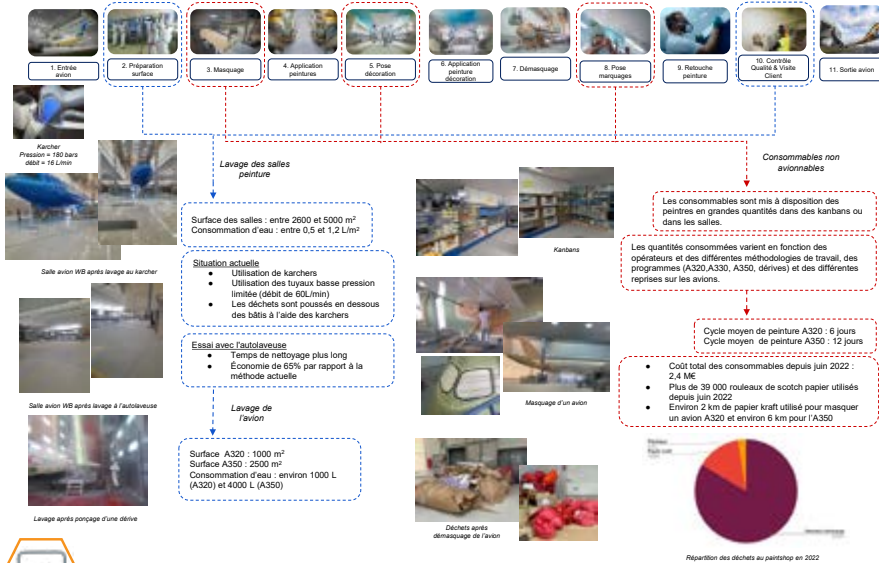
**Missions :** Evaluer les procédés et pratiques existants lors du cycle peinture d'un avion. Proposer des solutions d'améliorations pour :

- Réduire les consommables non avionnables (Papier kraft, adhésifs, abrasifs,...)
- Réduire la consommation d'eau lors des phases de lavage des avions et des salles de peinture.



### PRINCIPAUX RÉSULTATS

#### Etat de l'art et analyse des consommations actuelles dans les salles peinture



### CONCLUSIONS

L'état de l'art m'a permis d'acquérir des données sur les activités qui se déroulent au pôle peinture. Dans un premier temps, ces données seront analysées afin d'identifier les axes d'amélioration potentiels (exemple : sur-emballage). Cette analyse permettra de mettre en œuvre des solutions à moyen et à court terme afin d'améliorer progressivement les processus.

## Etude des déformations résultantes de la mise en forme des pièces en alliage d'aluminium

TOULOUSE INP Ensiacét

SAINT JEAN INDUSTRIES – Gaël HUCHET

CASSIGNOL François, IMAT

Durabilité

Saint Jean Industries

### OBJECTIFS

Le site de Belleville-en-Beaujolais produit des pièces de sécurité (liaisons au sol, pivots,...) pour les grandes marques et groupes automobiles internationaux comme Audi, Alpine, Maserati,...

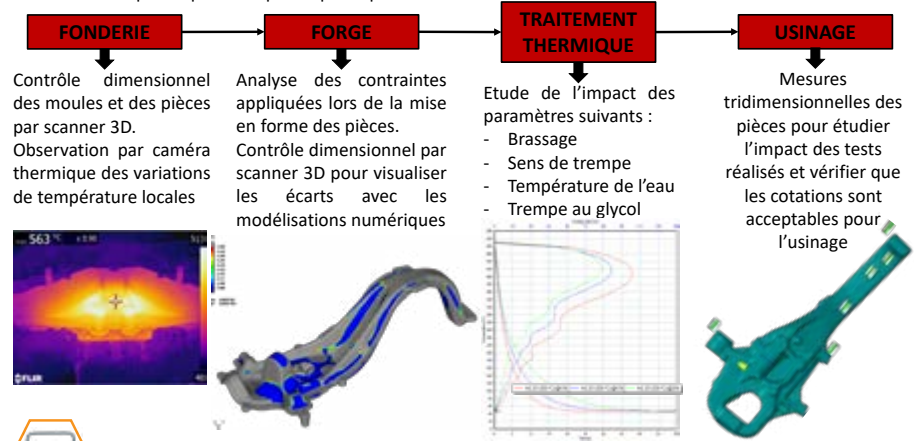
Grâce à leur procédé **COBAPRESS** breveté en 1983 signifiant **CO**ulée **B**asculé **P**RESSé, le groupe allie fonderie et forge afin d'obtenir des pièces en alliage AISI7Mg0.3 avec de bonnes propriétés mécaniques à moindre coût.

Mes principales missions s'orientent autour de la qualité des pièces produites :

- Comprendre l'impact de chaque étape du process (Fusion, Fonderie, Forge, Traitement thermique, Usinage, Contrôle qualité) sur la déformation des pièces
- Mettre en place des essais visant à déterminer quels sont les paramètres (Températures, Puissances de forge, ...) impactant la distorsion des pièces
- ★★★• Déterminer et mettre en place des solutions en accord avec la production pour corriger et améliorer la qualité des produits

### PRINCIPAUX RÉSULTATS

Mise en place d'un diagramme d'Ichikawa et d'un plan d'action pour déterminer les causes responsables de la distorsion des pièces pour chaque étape du process.



### CONCLUSIONS

Les premiers essais ont permis d'écarter certaines pistes n'influençant pas les déformations observées sur les pièces après TTH. L'étape de tremp semble être le point majeur concernant ces déformations aléatoires. Cependant la mise en place des tests nécessite du temps et doit s'adapter à la production. Bien que les analyses soient toujours en cours, des réglages sont à l'étude au pôle méthodes pour améliorer la qualité des pièces et identifier les solutions applicables.

Amélioration du procédé d'assemblage de pièces réalisées en Fabrication Additive (FA)



CNES – FROISSART Théodore

CHATAIGNER Laurane, IMAT

Durabilité



OBJECTIFS

Caractériser des assemblages de pièces imprimées en dépôt de fil fondu FDM

En effet, pour réaliser l'assemblage des satellites, les ingénieurs du service RI ont besoin d'outillages de plus en plus volumineux et complexes

Le procédé de Dépôt de Fil Fondu FDM

A partir d'une bobine de filament de polymère, une pièce est créée, couche par couche, selon le design choisi



Polymère utilisé : PEKK-Amorphe

Polymère thermoplastique semi-cristallin à hautes performances, il possède d'excellentes propriétés thermiques et mécaniques qui répondent aux exigences du spatial.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. **Veille technologique évaluant toutes les solutions d'assemblages envisageables**  
Critères de sélection :
  - Résistance mécanique
  - Anticipation en CAO
  - Reproductibilité
  - Compatibilité salle propre
  - Facilité de mise en œuvre
  - Réversibilité ou non

2. **4 solutions retenues :**
  - Inserts à expansion
  - Inserts thermofixés
  - Helicoil®
  - Colle EC2216

3. **Rédaction du plan de test design et impression des éprouvettes**

4. **Réalisation des essais :**
  - Traction
  - Serrage
  - Cisaillement



CONCLUSIONS

- Développement du procédé de FDM avec le polymère PEKK-A
- Rédaction d'un plan de validation des solutions d'assemblages
- Analyse des résultats → détermination de la solution d'assemblage la plus viable et efficace pour une utilisation dans le domaine du spatial avec des polymères de hautes performances

Développement de procédés de décoration et de fabrication pour composants horlogers



RICHEMONT SA – NOIRAUD GUILHEM

COSSALTER Mathilde, IMAT

Durabilité



OBJECTIFS

ALD

Richemont utilise l'Atomic Layer Deposition (ALD) pour colorer des cadrans horlogers. L'objectif de mon stage est de réduire la dispersion d'épaisseurs des dépôts, appelée Non-Uniformité (NU), sur des pièces se situant à différentes positions dans le réacteur afin d'obtenir des pièces de couleurs identiques, sans défaut et ainsi d'étendre le panel de couleurs réalisables.

MassRéplica

Richemont utilise un procédé de fabrication semi-additive par électroformage de cuivre, appelé MassRéplica, afin de réaliser des pièces décoratives de cadrans horlogers. L'objectif de mon stage est de mettre en place ce procédé d'électroformage pour des métaux précieux tel que l'or 24 carats et d'établir des outils de caractérisation du dépôt ainsi que du bain d'électroformage.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

ALD

- Réduction de la NU de 27 % et optimum atteint.
- Meilleure compréhension de l'influence des paramètres d'entrée.
- Compréhension des flux de gaz dans le réacteur grâce à des simulations fluidiques.

MassRéplica

- Essais d'électroformage d'or 24 carats réussis sans décrochage du dépôt pendant l'essai ni défaut apparent. Qualité du dépôt très satisfaisante (force de remplissage, adhérence, brillance).
- Quantification des espèces en solution.



CONCLUSIONS

ALD

- Les dépôts ALD sont plus homogènes et répétables.
- L'optimum est atteint.
- Le panel de couleur réalisable est plus étendu et mieux maîtrisé.

MassRéplica

- Il est possible de réaliser des pièces décoratives simples en or 24 K par électroformage.



Etude de voies d'optimisation pour accumulateur Li-ion tout solide à l'échelle laboratoire

TOULOUSE INP Ensiacét



SAFT – PELÉ Vincent

DUMOULIN Benjamin, IMAT

Universitetet i Bergen (Norvège)



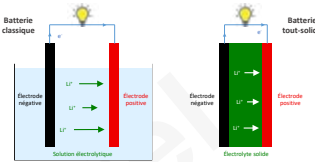
OBJECTIFS

**Contexte :** une des principales voies de recherche pour les **futurs batteries Li-ion** porte sur les accumulateurs « tout-solide », qui utilisent un électrolyte à l'état **solide**, et non liquide. D'une part, les risques de fuite de ce composant inflammable sont drastiquement réduits, les rendant **plus sûres**. D'autre part, grâce au freinage de la formation de dendrites de lithium par la matrice solide, du lithium métal pourrait être utilisé à terme à l'électrode négative, apportant une plus grande capacité pour un plus **grand stockage d'énergie**.

Mais ces accumulateurs nécessitent l'application de **fortes pressions** pour permettre de maintenir la circulation des ions Li<sup>+</sup> et électrons aux **interfaces** entre les grains de matière. Pour être capable de viabiliser la technologie, il est nécessaire de conserver de hautes performances à des pressions réduites.

**Missions :** dans le cadre des travaux de l'équipe de recherche chargée de l'investigation sur les électrolytes solides type sulfures, je suis chargé de plusieurs études :

- Formulation de nouvelles électrodes négatives à base de Silicium, comprenant des **nouveaux additifs** lithiophiles. Assemblage en cellules, en boîte à gants sous atmosphère Argon, pour évaluation électrochimique.
- Modification de la procédure d'assemblage pour permettre la **réduction de la pression** appliquée en cyclage.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Optimisation d'électrode négative :

**Formulation** d'une encre (matériau d'électrode négative, liant polymère, solvant, additifs)

**Enduction** sur feuillard de cuivre, séchage, puis découpe des électrodes

**AMÉLIORATION ITÉRATIVE**

**Analyse** des performances par cyclage à courant constant et spectroscopie d'impédance (capacité spécifique, réversibilité, conductivité, rétention de capacité)

**Assemblage** en cellule sous pression : en demi-cellule (électrode de référence LiIn) ou en cellule complète (électrode positive NMC 811)

Manipulations en boîte à gants sous atmosphère Argon (matériaux réactifs à l'air)

Cyclage galvanostatique

Modification de l'assemblage :

- Changement de procédure
- Amortissement des inhomogénéités

La pression peut être appliquée avec plusieurs techniques lors de l'assemblage, seules ou combinées :

- Presse uniaxiale ou isostatique
- Ressorts

Hétérogénéités évaluées avec un papier Fujifilm Prescale (coloration en fonction de la pression)

Evaluation de l'apport d'une **mousse de Nickel** servant de tampon

Des mesures d'**impédance** permettent ensuite d'identifier les meilleurs assemblages testés

Spectroscopie d'impédance

CONCLUSIONS

**Expérimentales :** Malgré un maintien intéressant des performances après ajout des additifs lithiophiles testés, il n'y a pas de nette amélioration observée. Les modifications de l'assemblage sont elles aussi non concluantes à ce stade. Des pistes d'améliorations sont envisagées pour la suite.

**Personnelles :** Familiarisation avec les batteries de technologie Li-ion et tout-solide. Prise en main des assemblages de cellules et des techniques d'analyse. Apprentissage de la méthodologie de travail en **R&D** au sein d'une entreprise de renom dans le secteur.

Optimisation du procédé de fabrication RTM de composites à fibres de carbone

TOULOUSE INP Ensiacét



MECANO ID – LORIAUD Vincent

GARCIA Guilhem, IMAT

Fonctionnalité

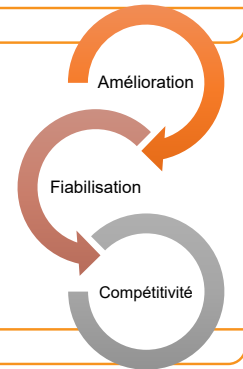


OBJECTIFS

L'amélioration continue d'un procédé industriel est nécessaire afin de le fiabiliser, de le moderniser et de gagner en compétitivité.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs axes d'amélioration ont été étudiés :

- Suppression d'une étape de cycle thermique sur une préforme CFRP avant injection en conservant la qualité du composite final.
- Fiabilisation du procédé par des améliorations techniques sur des points clés du procédé.
- Etude d'une automatisation des étapes d'injection et d'ouverture d'un moule pour procédé RTM.
- Le désassemblage et la réutilisation d'embouts en titane de bielles collées TA6V-CFRP.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Suppression de l'étape de préformage de tubes composites

Lors d'un drapage automatisé (AFP), la cohésion des brins est assurée par l'activation d'un voile thermoplastique présent sur les fibres de carbone. La mauvaise diffusion de ce voile dans le brin pendant le procédé entraîne la formation de défauts superficiels sur les structures en composite. Un plan d'expériences a été mis en place afin de caractériser ce phénomène de diffusion et d'optimiser un traitement en amont des étapes d'injection permettant d'empêcher l'apparition de défauts.

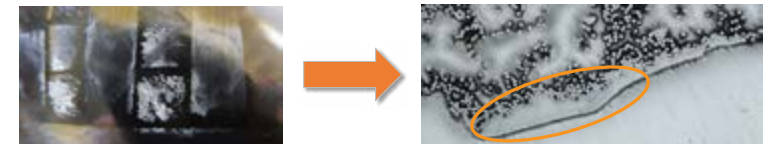


Figure 1: Observation micrographique du voile thermoplastique sur brin UD sec (à gauche) et dans une plaque composite CFRP (à droite)

Recyclage d'embouts de bielle en titane assemblés



Figure 2: Schéma de procédé de désassemblage d'un système CFRP-Epoxy-Titane

CONCLUSIONS

- Des axes d'amélioration de la chaîne de fabrication ont été ciblés et développés pour réduire le temps total de production.
- L'étude de faisabilité de récupération d'embouts en titane a permis de statuer sur un procédé efficace dont l'impact sur le substrat est quantifiable.
- L'automatisation du procédé d'injection se poursuit avec l'implémentation de capteurs et la révision des moules existants.



**Ingénieur méthode pour la mise en production d'un nouveau matériau composite**

TOULOUSE INP Ensiacét



AIRBUS ATLANTIC – JOSEPH Pierre-Edouard

AIRBUS

GAUD Benjamin, IMAT

Université Technique de Riga, Lettonie



**OBJECTIFS**

- Industrialiser une nouvelle matière première pré-imprégnée composite sur une pièce structurelle auto-raïdie d'un programme avion
- Proposer et tester des solutions techniques afin de répondre à un fluage résine important lors de la polymérisation de ce même matériau
- Analyser les caractéristiques de la pièce et pointer les risques de non qualité associés.
- Assurer le suivi de la réalisation des démonstrateurs (labo à échelle 1) et rédiger les rapports techniques associés
- Intégrer le groupe projet multifonctionnel international (MFT) pour les prises de décisions des tests à mener sur l'introduction de ce matériau en tant qu'ingénieur méthodes et leur reporter les résultats obtenus
- Comprendre les différentes méthodes de polymérisation, de moulage et de drapage et relations structures/propriétés des composites.



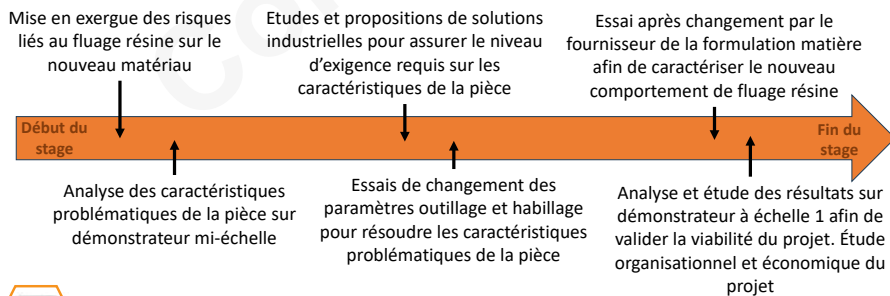
Panneau 4 raidisseurs auto-raïdi



Panneau 2 raidisseurs auto-raïdi pour tests à petite échelle



**PRINCIPAUX RÉSULTATS**



**CONCLUSIONS**

- Résultats positifs sur la maîtrise du fluage résine
- Compréhension du fonctionnement d'une structure matricielle d'un grand groupe international
- Compréhension des différents modes de mise en œuvre des matériaux composites thermocurable

**Interactions métal-verre dans un électrolyseur à haute température**

TOULOUSE INP Ensiacét



CEA – M. Fabien Rouillard, Andrea Quaini



GERMAIN André, IMAT

MI / Durabilité



**OBJECTIFS**

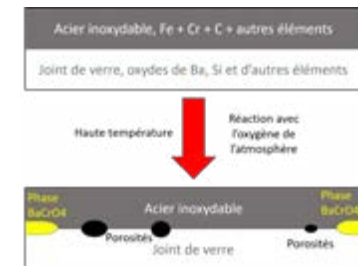
La production de dihydrogène (H<sub>2</sub>) « vert » via l'électrolyse de l'eau est une voie importante pour la décarbonation de certaines filières industrielles notamment chimiques et sidérurgiques.

Une des technologies en développement est l'électrolyseur à haute température (EHT) qui travaille entre 700 et 800 °C. Les interconnecteurs en acier qui séparent les différentes cellules de l'EHT sont reliés entre eux par des joints en verre qui assurent l'étanchéité de l'ensemble.

L'objectif de ce travail est d'étudier les interactions entre ces deux matériaux (verre et acier) dans des conditions de travail de l'EHT afin de s'assurer de la fiabilité de l'assemblage, notamment du maintien de l'étanchéité, pendant toute sa durée de vie. Les tests expérimentaux sont couplés à des simulations thermodynamiques afin de prévoir les réactions possibles.



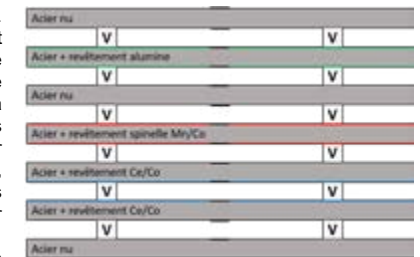
**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET DESCRIPTION DES ESSAIS**



Une étude de la littérature scientifique sur le sujet suggère la formation de phases solides non souhaitées entre le verre et l'acier par la combinaison de certains éléments alcalino-terreux du verre, du chrome de l'acier inoxydable et de l'oxygène de l'environnement de travail. Ces phases présentent un coefficient d'expansion thermique très différent de ceux du verre et de l'acier (volontairement conçus pour être proches). En fonctionnement cette propriété pourrait être à l'origine de fortes contraintes dues aux cycles thermomécaniques subis par l'assemblage et mener à un endommagement des joints. L'impact de la présence d'un champ électrique sur les interactions a aussi été mis en évidence.

Les interactions sont étudiées à 850 °C pendant 1000 h sous air statique de laboratoire avec et sans champ électrique. Des échantillons d'acier ferritique avec ou sans revêtements sont empilés via des bandes de verre. Dans un des deux fours utilisés, un champ électrique est imposé entre le 1<sup>er</sup> et le dernier échantillon afin de restituer les conditions de travail d'un EHT. Une prise de potentiel est prise sur chaque échantillon pour mesurer la résistivité des joints verre. La nature des zones d'interaction verre – acier sera caractérisée par différentes techniques de caractérisation (MO, MEB/EDS, Raman, ...) et comparée avec les prévisions thermodynamiques. L'influence du champ électrique sur les phases formées sera par ailleurs évaluée.

Des pastilles à base d'un mélange de poudres de verre et d'acier soumises au même traitement thermique permettront des analyses complémentaires.



Montage expérimental

Ingénieur matériaux – Composites, allègement et recyclage



SEGULA TECHNOLOGIES – Anne-Christine LOMBARDI

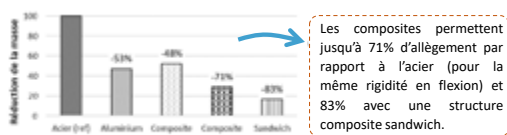
GIMON Aurélien, IMAT

MI / Durabilité / Master MECTS



CONTEXTE ET OBJECTIFS

En France, le secteur du transport est responsable de presque un tiers des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Alléger les moyens de transport est un levier pour réduire leur consommation et leurs émissions. De plus, le stock de matières premières n'étant pas infini, la création d'une économie circulaire (réutilisation, réemploi, recyclage) est vitale. Ce projet se place dans le cadre de l'allègement par l'utilisation de matériaux composites, réparables et recyclables.



Les composites permettent jusqu'à 71% d'allègement par rapport à l'acier (pour la même rigidité en flexion) et 83% avec une structure composite sandwich.



Principaux renforts des composites (adapté du Guide du Recyclage et de l'Ecoconception des Composites de l'ADEME, 2022)

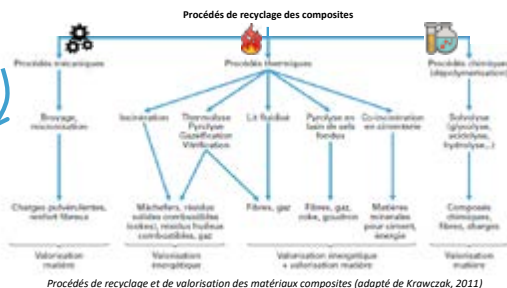
- Objectifs :
- 1 Etudier les possibilités en matériaux d'allègement, notamment recyclés
  - 2 Proposer des procédés de recyclage viables
  - 3 Quantifier les nouvelles performances avec fibres recyclées

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Afin de déterminer les procédés de recyclage les plus adaptés au projet, la méthode TOPSIS, une méthode de décision multicritères a été utilisée. La figure ci-contre partage des exemples de procédés de recyclage étudiés.

Exemple d'une méthode de recyclage : La solvolysé (dégradation de la matrice polymère par utilisation d'un solvant dans des conditions particulières de température et de pression).

- + Bon rendement, récupération fibres et matrice...
- Mais solvants à traiter, risques HSE, faible cadence...



Procédés de recyclage et de valorisation des matériaux composites (adapté de Krawczak, 2011)

Procédé	Classement
Découpe haute précision	1
Lit fluidisé	2
Recyclage mécanique	3
Mécanique + thermocompression	4
Solvolysé	5
Vapo-thermolysé	6
Vapothermolysé + réalignement	7
Thermolysé micro-ondes	8
Pyrolyse	9

En se basant sur divers critères tels que la capacité de production (tonnes/an), les émissions de GES (CO<sub>2</sub>eq/kg de fibres recyclées) ou encore la qualité des fibres récupérées, le classement provisoire ci-contre a été obtenu.

CONCLUSIONS

**Bilan**  
Une étude sur les matériaux d'allègement et sur les pistes de recyclage ont permis d'obtenir un certain nombre de candidats potentiels.

**Perspectives**

- Modéliser des procédés de recyclages parmi les meilleurs candidats
- Déterminer les propriétés théoriques d'une pièce produite à partir de matières premières recyclées

Etude des variations des propriétés physico-chimiques de la macroalgue *Gelidium Corneum* (Pays Basque), en fonction des saisons, de la localisation géographique et bathymétrique.



MANTA (Marine materials) IPREM/UPPA - DE MATOS FERNANDES Susana ADRIEN Amandine



GUILLAUME-LE GALL Enora, IMAT

Biotechnical Faculty University of Ljubljana (Slovénie)

OBJECTIFS

**Gelidium corneum** : algue rouge concentrée en agar (polysaccharide à grande valeur commerciale) Présente sur la côte Basque.



Un projet collaboratif : **Gelidium64**

- Caractériser les champs de Gelidium et visualiser sa répartition (Ifremer)
- Caractériser l'activité de pêche (Capena)
- Evaluer la qualité du Gelidium d'un point de vue physico-chimique, en fonction des saisons et de sa répartition spatiale. (Manta)

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Variations saisonnières

- Prélèvements mensuels à Biarritz (43.4816 N, -1.56896E)
- Concentration en pigments photosynthétiques (chlorophylles et phycobilprotéines) maximale en hiver, 4x celle de l'été. → Eau plus riche en composés azotés [1].
- Inversement, taux en carbohydrates plus élevé en été (32% contre 19% en hiver) → lié à la période de croissance de l'algue [2], à l'augmentation de la température de l'eau et de l'intensité du soleil [3].
- Peu de variations des protéines extractibles et polyphénols (propriété anti-oxydante mais faible concentration)

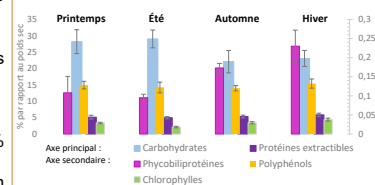


Figure 2. Variations de la composition du *Gelidium corneum* en 5 composés d'intérêts en fonction des saisons (% par rapport au poids sec de l'algue)

Variations spatiales

- Etude de la variation de la composition biochimique de *Gelidium Corneum* en fonction de :
  - Eloignement d'un émissaire (sortie de cours d'eau/station d'épuration),
  - Proximité avec la baie de St Jean de Luz,
  - Influence de la turbidité de l'eau,
  - Profondeur du champs de Gelidium.
- Prélèvements en plongée (-3m et -8m) sur 24 transects (T)



Figure 3. Carte du plan d'échantillonnage entre Hendaye et Guéthary (Pays-Basque) à 3 et 8m de profondeur. En rose, les échantillons dont les composés physico-chimiques ont été analysés.

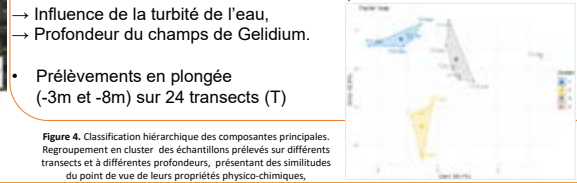


Figure 4. Classification hiérarchique des composantes principales. Regroupement en cluster des échantillons prélevés sur différents transects et à différentes profondeurs, présentant des similitudes du point de vue de leurs propriétés physico-chimiques.

CONCLUSIONS

Une fois les polysaccharides extraits, le reste de la biomasse algales, est souvent considéré comme un déchet. Ces composés biochimiques présentent pourtant de nombreuses propriétés intéressantes, pour l'alimentation, la pharmaceutique ou la cosmétique, entre autres [4]. La concentration de la majorité de ces composés d'intérêt va varier en fonction de la période de l'année où le *Gelidium* est récolté, mais aussi de son emplacement géographique. Mieux comprendre cette algue permet une meilleure valorisation de la filière d'exploitation du *Gelidium Corneum* de la côte Basque française.

[1] A. V. Gualda-Ortiz et al., "Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmata* (Gelidium)", *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 10, n° 6, p. 353-359, juin 1999.  
 [2] I. Pavia, E. Lina, A. Nieto, et J. Basterrosa, "Seasonal Variability of the Biochemical Composition and Antioxidant Properties of *Fucus spiralis* at Two Atlantic Islands", *Marine Drugs*, vol. 16, n° 8, p. 248, juillet 2018.  
 [3] K. Banerjee, R. Ghosh, S. Homechaudhuri, et A. Mitra, "Seasonal variation in the biochemical composition of red seaweed (*Catnella repens*) from Gangetic delta, northeast coast of India", *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 118, n° 5, p. 497-505, oct. 2009.  
 [4] T. Mougla et B. Fernandes, "The Red Seaweed Giant Gelidium (Gelidium corneum) for New Bio-Based Materials in a Circular Economy Framework", *Earth*, vol. 3, n° 3, p. 768-813, juin 2022.

Cheffe de projet développement packaging – axe Soins



GUERLAIN – GIRARD Emma

GUTIERREZ Laura, IMAT

MI / Fonctionnalité / CONTRAT PRO



OBJECTIFS

Créée en 1828, Guerlain est depuis près de 2 siècles une prestigieuse maison de savoir-faire réalisant de sublimes créations de Parfum et de Beauté.

Pour le consommateur, le packaging est primordial car il met en avant le contenu.

Le développeur packaging doit répondre aux attentes du marketing en respectant les contraintes « coûts, qualité, délais » et travaille donc en collaboration avec de nombreux corps de métiers (marketing, réglementaire, production, qualité, achats etc.)

Mon poste consistait à intervenir en support sur le développement de nouveaux packagings et à optimiser ceux existants en intégrant la notion d'écoconception à mes projets.

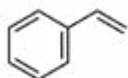
PRINCIPAUX RÉSULTATS

Identification de matériaux pour substituer les styréniques des packagings Abeille Royale.

Réduction de plastique fossile dans le sampling Guerlain.

Rechartage des primaires et étuis Abeille Royale pour moderniser la franchise.

Aide ponctuelle sur les projets de lancement.



Rédaction d'éléments documentaires dans le cadre de chaque projet : Création et/ou modification de codes, nomenclatures, fiches de spécifications techniques.

CONCLUSIONS

- Collaboration avec tous types de métiers (Achats, Marketing, Industrie, Qualité, Homologation, Logistique, Fournisseurs etc.).
- Déplacements occasionnels pour rencontrer les fournisseurs et découvrir leurs lignes de production (verrier, injecteur plastique, usine étiquettes...)
- Chefferie de projet technique et opérationnelle.
- Découverte et développement des compétences techniques pack.
- Présentations aux différents départements et à la Direction.
- Maîtrise des logiciels et process internes.

Supervision de plan d'action de sobriété énergétique



VEOLIA – ARBAUD ANGEL

HALLARD Clémence, IMAT

Universidad de Sevilla (Espagne)



OBJECTIFS

Veolia Energie France, filiale du groupe Veolia Environnement, accompagne les services publics et les entreprises dans la réduction de leur empreinte environnementale.

Le stage s'est déroulé dans le secteur de l'exploitation CVC<sup>1</sup>. Ce dernier est en charge de la performance énergétique des installations thermiques de chauffage, ventilation et climatisation qui lui sont confiées. Pour cela, il assure à la fois la maintenance préventive et corrective du matériel, et contribue à l'optimisation de leur réglage.

Dans le cadre d'un contrat de performance énergétique signé avec la région AURA, des travaux de rénovation énergétique sur une cinquantaine de lycées ont été planifiés pour l'été 2023.

Pour contribuer à leur bon déroulement, les objectifs du stage sont les suivants:

- Contribuer à la **préparation des travaux**
- Garantir le **suivi des délais et des dépenses**
- Veiller à la **conformité des travaux**
- Calculer le **gain énergétique** engendré et le **retour sur investissement** sur un des projets, considérant les éventuelles aides CEE<sup>2</sup>
- Assurer la **veille des sujets d'exploitation**



PRINCIPAUX RÉSULTATS

SUIVI DE LA MAINTENANCE

Simultanément à la supervision des travaux, j'ai dû assurer le suivi des sujets de fond de l'exploitation tel que la réalisation des opérations contractuelles de maintenance préventive et les éventuels dépannages:

- Accompagner l'activité des techniciens en passant des commandes de matériel
- Contribuer au suivi des réponses clients
- Participer aux réunions mensuelles d'exploitation

CALCUL DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT

Projet de remplacement d'une GTC <sup>3</sup>	
Consommation: 2256MWh/an	Fourniture: 180000€
Gain: 4%/an	Main d'œuvre: 1180€
Coût énergie <sup>4</sup> : 0,1043€/kWh	CEE: 95572,03€
<b>Réduction: 9412,05€/an</b>	<b>Investissement: 85607,97€</b>
<b>ROI<sup>5</sup> = 9,1 ans</b>	
Les projets sont élaborés pour 15 ans environ	
<small>*En 2023. Calcul fait sans tenir compte du cours du gaz et de l'inflation</small>	

1. Définition

Identification des postes énergivores  
Elaboration des solutions adaptées  
Priorisation  
Proposition client

2. Préparation

Négociation  
Choix des sous-traitants  
Chiffrage  
Planification

3. Réalisation

Suivi des délais (diagramme de Gant)  
Suivi financier  
Visite de chantier

4. Réception

Réception  
Remise DOE<sup>6</sup>/PV<sup>7</sup> de réception  
Présentation aux clients  
Formalités CEE<sup>2</sup>

CONCLUSIONS

Ce stage a contribué au bon déroulement des travaux de rénovation énergétique de 2023 sur des lycées de la région AURA tout en assurant la maintenance estivale. Suite à ces améliorations sont attendues entre 1 et 7% d'économies d'énergie, selon les projets, sur les saisons de chauffe à venir.

Mes missions m'ont permises de prendre en main des **outils d'exploitation** (commandes, devis, suivi énergétique), d'enrichir mes **connaissances** sur les marchés publics d'exploitation, sur les installations de chauffage et sur le fonctionnement des CEE, et de développer des compétences dans la **gestion de projet, financière** et dans le **management d'équipe**.

<sup>1</sup>CVC: Chauffage, Ventilation, Climatisation – <sup>2</sup>CEE: Certificats d'Economies d'Énergie – <sup>3</sup>GTC: Gestion Technique Centralisée – <sup>4</sup>ROI: Return On Investment – <sup>5</sup>DOE: Dossier des Ouvrages Exécutés – <sup>6</sup>PV: Procès-Verbal



Ingénieur en Fabrication Additive Métallique

TOULOUSE INP Ensiacét

NAVAL GROUP



NAVAL GROUP – D. Guilhem

HEREIL Léandra, IMAT

MI / Durabilité / CONTRAT PRO



OBJECTIFS

- Participer au développement de la Fabrication Additive Métallique au sein du service R&D coque pour des Bâtiments de Surface militaires
- Participer à la conception/réalisation de démonstrateurs et prototypes
- Participer à la mise en œuvre et à la mise à jour des documents techniques pour la qualification de pièces de coques produites par la technologie WAAM en lien avec le Technocampus Océan
- Participer à la mise en œuvre et à la mise à jour des documents techniques pour la qualification de pièces produites par la technologie L-PBF
- Participer à l'analyse et au développement de solutions d'optimisation de conception et de production
- Créer des outils d'aide à la conception à partir d'un règlement européen.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Création, suivi et finalisation de dossier de qualification pour des pièces avec autorisation de navigation – Technologie WAAM.
- Création d'un dossier de Qualification d'un Mode Opérateur de Soudage - Technologie WAAM.
- Création, suivi et finalisation de dossier de qualification pour la confection de pièces - Technologie L-PBF.
- Mise à disposition de fiches de solutions pour le service étude et les architectes navals.
- Réalisation et validation d'un fichier de dimensionnement relatif à un nouveau règlement européen.



© Copyright Naval Group



CONCLUSIONS

En conclusion, plusieurs jalons R&D ont pu être franchis grâce à la construction et/ou au suivi de quatre dossiers de qualification rassemblant entre autres les exigences matières, les paramétrages, les résultats et les conclusions.

Les liens entre les services études/conception et les ateliers ont été renforcées au travers de la création d'outil-catalogue. Ceci a conduit à l'optimisation des choix de conception dès les prémices des programmes.

Les architectes navals disposent désormais d'un fichier de calcul traduisant les exigences du règlement européen dont la prise en main a été facilitée.

Étude de l'effet du chrome sur le comportement mécanique et environnemental d'un alliage concentré complexe

TOULOUSE INP Ensiacét

ICMPE



Institut de Chimie et Matériaux Paris-Est – COUZINIÉ Jean-Philippe

JEAN Hugo, IMAT

Parcours Durabilité

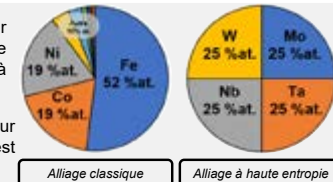
CRIPS UPEC



CONTEXTE & OBJECTIFS

Les **alliages à haute entropie réfractaires** suscitent depuis leur découverte en 2010 un fort intérêt dans la communauté métallurgique notamment en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques jusqu'à 1000°C.

Les alliages réfractaires souffrent toutefois de faiblesses dans leur tenue à l'oxydation et l'addition contrôlée de **chrome** est envisagée comme solution pour palier à ce problème.



Barreau d'alliage NbTiZr après fusion à l'arc électrique sous atmosphère inerte



L'objectif de ce stage est d'identifier l'impact du chrome introduit en faible teneur sur les **microstructures**, le **comportement mécanique** et les cinétiques d'**oxydation** d'une solution solide de type NbTiZr.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Une première étape de ce stage consistait à déterminer la limite de solubilité de Cr dans la base équiatomique NbTiZr, puis grâce à des traitements thermomécaniques d'obtenir une microstructure homogène chimiquement et en taille de grains

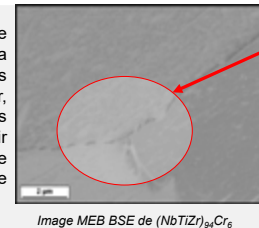
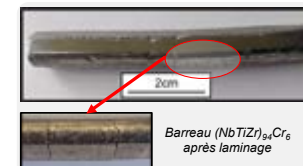


Image MEB BSE de (NbTiZr)<sub>94</sub>Cr<sub>6</sub>

L'analyse EDX de ces précipités indique la présence d'une seconde phase enrichie en Cr aux joints de grains.



Barreau (NbTiZr)<sub>94</sub>Cr<sub>6</sub> après laminage

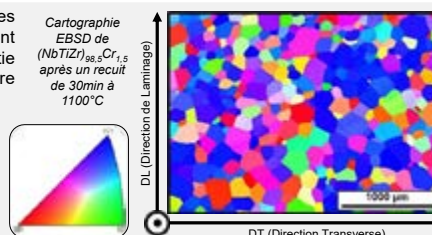
Un taux de chrome supérieur à 3%at. entraîne l'apparition d'une phase secondaire aux joints de grains fragilisant l'alliage, provoquant ainsi une rupture intergranulaire précoce lors de l'étape de laminage.



CONCLUSIONS

Les cartographies d'orientations des grains réalisées par EBSD ont montré qu'une durée de traitement thermique de quelques dizaines de minutes en sortie de laminage permettait l'obtention d'une structure cristalline proche de celle recherchée.

Avec cette information, des éprouvettes de traction recuite dans ces mêmes conditions seront réalisées afin d'effectuer les essais mécaniques et des échantillons subiront des Analyses Thermogravimétriques (ATG) afin d'étudier les cinétiques d'oxydation de l'alliage.





Manipulation des retour four sur les HSI (>3% Si)



ArcelorMittal – Alix Asselin

JURET Alexandre, IMAT

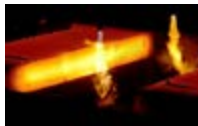
MI - Durabilité



OBJECTIFS

Les brames ne pouvant être laminées sont dites « Retour four » et son mitraillées :

- Réaliser une manipulation de retour four au Train à Chaud sur des produits HSI.
- Etude du business case : ce qui peut et pourra être sauvé
- Définition de la route à emprunter par les brames jusqu'au ré-enfournement
- Etude de risques et de faisabilité
- Modélisation numérique et par éléments finis
- Négociations avec les parties prenantes



Oxycoupage de brame à l'aciérie



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Etude de rentabilité :

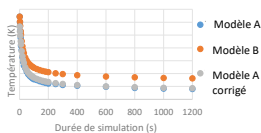
Quantité précise de brame à sauver et gain potentiel pour l'entreprise → Business case établi

Définition de la route :

À partir du défournement de la brame, son temps est compté avant d'être mise en couveuse et les conditions opératoires sont primordiales. La température du matériau au cours de la manipulation est un point critique pour les risques et faisabilité process.

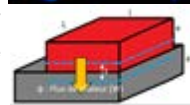
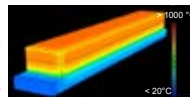


Refroidissement brame chaude



Étude de risques et faisabilité :

L'étude de risque humain porte sur la sécurité des opérateurs lors de la manipulation des retours four. Les risques process ont aussi été identifiés, des valeurs de températures, durées de séjour dans les fours et en couveuse ont pu être déterminées. Le comportement en oxydation à haute température a aussi été étudié.



Négociations avec les parties prenantes :

Matériel graphique adapté à la présentation pour divers publics, dans le but de recevoir les critiques et conseils inhérents à chaque service prenant part.



CONCLUSIONS

Les premiers résultats permettent d'établir des fourchettes de conditions permettant la faisabilité de la manipulation des retour four. On peut donner une estimation correcte du refroidissement des brames lors de la manœuvre.

Les difficultés supplémentaires liées à un incident doivent encore être prises en compte, ainsi que les considérations d'approvisionnement et négociations avec le train à chaud.

Amélioration de la qualité de vie des patients et des techniques chirurgicales au moyen de l'impression 3D



IUCT Oncopole – Pr. Agnès DUPRET-BORIES

KAWIECKI J-F, IMAT

Universita ta Malta (Malte)



OBJECTIFS

MicroLearn

Pour qui ? Chirurgiens en formation de microchirurgie vasculaire

Pour quoi ? Réduire le nombre de souris/rats utilisées pour former

Comment ?

- Comportement des vaisseaux proche de la réalité (retour chirurgiens)
- Vérification de l'étanchéité de la suture
- Vérification de l'absence de thrombose



EasySwim

Pour qui ? Patient laryngectomisé (abouchement de la trachée à la peau)

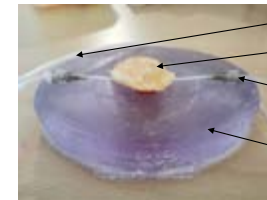
Pour quoi ? Leurs permettre de retourner dans l'eau, ou d'en approcher sans risque de noyade

Comment ?

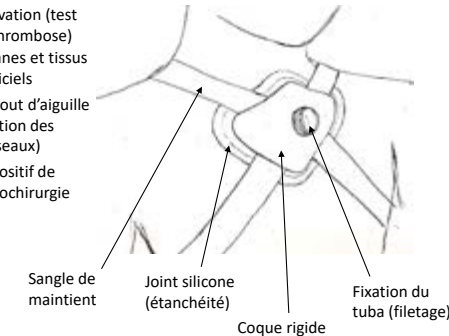
- Système installé sur le tracheostome
- Etanche à l'eau
- Adaptatif (fixation pour tuba, sécurité anti-eau)
- Ergonomique et sécuritaire (s'adapter à la morphologie du patient)



PRINCIPAUX RÉSULTATS



- Dérivation (test de thrombose)
- Organes et tissus artificiels
- Embout d'aiguille (fixation des vaisseaux)
- Dispositif de microchirurgie



- Recherche des vaisseaux par déchirement des tissus
- Poche de liquide à ne pas percer
- Dispositif adaptatif pour tous types de vaisseaux (nerf également)



CONCLUSIONS

Microlearn

- ✓ Dispositif adaptatif et stable
- ✓ Organes et tissus artificiels
- ✓ Substitut d'artères

→ Système de vérification de présence ou non de thrombose

→ Substitut de veines



Easyswim

- ✓ Concept
- Fabrication d'un prototype
- Proposition de tests pour les patients volontaires
- Retour des patients (efficacité, confort, facilité d'installation, ressenti...)
- Amélioration et reprise du prototype



## INGENIEUR D'AFFAIRES – BUSINESS UNIT AERONAUTIQUE

TOULOUSE  
INP Ensiacét

ALTEN SUD-OUEST – ANDRIEU Florent

LE DOARE Enzo, IMAT

Polytechnique Montréal  
(Canada, QC)

## OBJECTIFS

L'ingénieur d'affaires ALTEN est le manager de ses consultants ingénieurs travaillant sur des projets technologiques à hautes valeurs ajoutées. Il a particulièrement 3 rôles principaux :

- **Recrutement** : Trouver de nouveaux talents afin qu'ils rejoignent ses équipes.
- **Management** : Suivi de l'intégration, du parcours et de l'évolution de ses consultants
- **Développement commercial** : Prospection client, compréhension des enjeux du secteur d'activités et des métiers.

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

Montée en compétence sur l'ensemble des aspects du métier d'Ingénieur d'Affaires. Elle s'effectue en 3 phases avant d'être autonome :

- 1<sup>ère</sup> phase (1-2 mois) : Audit de Business Managers Expérimentés pour apprendre le métier
- 2<sup>ème</sup> phase (1 mois) : Apprentissage en pratiquant
- 3<sup>ème</sup> phase (3 mois) : Autonomie

## Résultats personnels :

- Compréhension des enjeux du secteur aéronautique
- Découverte de beaucoup de métiers de cette industrie et des compétences associées
- Apprentissage du métier d'Ingénieur d'Affaires

## Recrutement et management :

- Recrutement de 4 ingénieurs et suivi de leur intégration sur les projets

## Développement commercial :

- Rencontre avec plus de 20 clients du domaine aéronautique

## CONCLUSIONS

Le manager ALTEN doit être capable de recruter et de manager des ingénieurs. Il doit également posséder un tempérament d'entrepreneur afin de développer son portefeuille commercial et pérenniser la relation avec ses clients.

C'est un stage très riche avec de fortes responsabilités, ce qui m'a particulièrement plu.

## Développement et fonctionnalisation d'une surface antithrombotique pour poumon artificiel

TOULOUSE  
INP Ensiacét

Institut Européen des Membranes – BECHELANY Mikhael

LECLERC Audrey, IMAT

Fonctionnalité



## OBJECTIFS

Dans le cadre d'un projet consistant en l'élaboration d'un poumon artificiel, l'entreprise EdenTech est en charge de la conception d'un oxygénateur. Au sein de ce dernier, on retrouve à la plus petite échelle des micro unités. C'est dans ces micro unités, actuellement formulées en PDMS (Polydiméthylsiloxane), que le sang des patients va circuler. Cependant le contact avec ce matériau va amorcer la coagulation, empêchant la circulation correcte du sang. Le principal objectif de ce projet est donc de développer un revêtement anticoagulant à base d'héparine, l'anticoagulant le plus utilisé en médecine, et ainsi de résoudre ce problème.

## ETAPE N°1

Recherche d'un protocole de fixation d'héparine

## ETAPE N°2

Premières fixations sur PDMS

## ETAPE N°3

Caractérisation de la surface du PDMS

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Choix d'un protocole de fixation d'héparine contenant peu de produit protocole économique et rapide
- Remise en question du PDMS à cause de sa stabilité -> lorsqu'on le traite pour qu'il devienne hydrophile ou qu'on y fixe des polymère hydrophile, il redevient hydrophobe après peu de temps

Nom de l'échantillon	Angle de contact (°)
PDMS	107,75
PDMS 30 min après traitement plasma	Complètement hydrophile
PDMS 24 h après traitement plasma	94,65
PDMS après fixation d'acide acrylique	96,78

Mesure d'angle de contact sur la surface du PDMS après différents traitements

- Etude bibliographique sur l'amélioration de la stabilité du PDMS
  - Premières recherches : 21 jours de stabilité maximum



Illustration du traitement plasma O2 sur PDMS

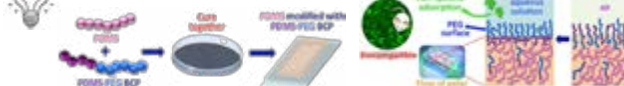
Retour à l'hydrophobicité après quelques heures



Illustration de la fixation de PEG sur PDMS

Retour à l'hydrophobicité après quelques jours

- Recherches plus approfondies : jusqu'à 20 mois de stabilité grâce à l'ajout d'un copolymère PDMS-PEG au PDMS



Retour à l'hydrophobicité après plusieurs mois

- Réflexion à propos de l'utilisation du protocole de fixation d'héparine sur le nouveau matériau

## CONCLUSIONS

Nous pensons rapidement trouver une fixation convenable puis passer aux étapes d'optimisation du protocole, malheureusement les problèmes de stabilité du PDMS ont ralenti nos recherches. Cependant, l'utilisation d'un copolymère PDMS-PEG semble être la solution la plus adaptée à ce problème. Ainsi, les recherches sur le protocole de fixation d'héparine vont pouvoir continuer avec ce nouveau matériau.

Prédiction de force de laminage en queue de produit



ArcelorMittal – DUJARRIER

MABON Louis, IMAT

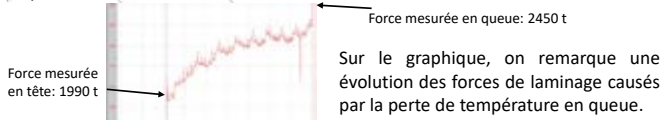
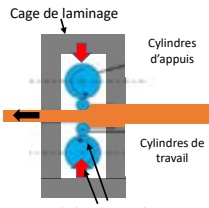
Durabilité



OBJECTIFS

Lors du laminage à chaud, plusieurs calculs, dont un de force, sont lancés pour prévoir les efforts subis par la cage de laminage. Cependant ces calculs sont seulement réalisés sur la tête du produit lors de son passage dans la cage. Or, la queue du produit, ayant attendu plus longtemps avant d'être laminée, a perdu en température et est maintenant plus dure à laminier que la tête. Cet accroissement de force est tel sur certains produits que cela pourrait endommager la cage de laminage.

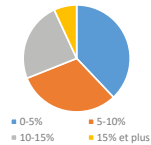
L'objectif de ce stage est de modéliser les forces en queue de produit pour préserver l'installation.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Pour vérifier l'exactitude et la cohérence du modèle en queue, on peut comparer la valeur fournie par le modèle et celle prise par les capteurs lors du passage de la bande. Les plus grosses élévations de force se faisant sur la cage 1, on compare les valeurs mesurées et calculées sur cette cage. A l'heure actuelle, le calcul en queue n'est pas mis en production, il ne peut donc se faire que sur un nombre limité de produits.

% écart entre modèle et valeurs mesurées



Sur le nombre limité de produits que l'on a pu tester, plus de 69% des essais réalisés avaient une erreur relative inférieure à 10%. On remarque cependant que 7% des essais ont donné plus de 15% d'erreur relative entre la mesure et le modèle.



CONCLUSIONS

Le calcul de force en queue de bande est encore en phase expérimentale. Cependant, des modifications ont déjà été réalisées dans le programme actuel du process pour pouvoir accueillir ce calcul. A terme, une fois que le calcul en queue de bande est définitivement installé, il sera utilisé sur tous les produits créés sur le site de Dunkerque :

- Protection active de l'outil de production en levant une alarme en cas de prévision de force trop élevée
- Optimisation des faisabilités techniques
- Maintenance et amélioration du modèle

Ingénieur Supply Chain



SOLVAY – Pascal BARBIER PUENTE

MAGNE Elsa, IMAT

GSI / ISI



OBJECTIFS

Le site de Solvay La Rochelle est spécialisé dans la séparation et la purification des Terres Rares. Rattachée au service Logistique – Supply Chain, des missions de deux types m'ont été confiées :

**Mission 1 : Mettre en place une démarche de réduction du lead time du processus logistique.**

Ce projet s'inscrit dans une dynamique globale du site de La Rochelle qui souhaite réduire de 30% son Lead Time.

Ma mission est ciblée au service logistique. En utilisant la méthodologie DMAIC (Define, Mesure, Analyser, Améliorer, Contrôler), l'objectif est de mettre en place des mesures pour être plus réactif auprès des clients grâce à des outils statistiques et l'implication des équipes.

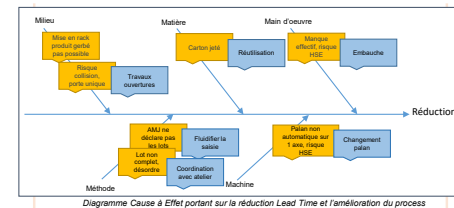
**Mission 2 : Dimensionner les nouveaux flux entrants et sortants de l'entrepôt logistique et construire des propositions d'organisation.**

L'objectif est de réunir des savoirs théoriques via de la documentation afin de choisir le modèle le plus adéquat à la projection des flux à court et moyen termes.

Ma mission est de réaliser cette recherche bibliographique et de simuler les différents scénarios imaginés, en quantifiant les besoins en matières premières et les stocks de sécurité nécessaires.



PRINCIPAUX RÉSULTATS



Actions retenues pour réduire les délais et améliorer la fiabilité du processus :

- ✓ Mise en place d'un outil digital pour obtenir le lead time en temps réel ;
- ✓ Réorganisation de la zone de stockage dans les ateliers de production ;
- ✓ Coordination de la déclaration de lot dans les ateliers de production ;

D'autres actions en faveur de l'environnement sont étudiées, comme la réutilisation du carton en bon état.

1. Modèle théorique :

- Etablir les hypothèses de la simulation car le projet est à un stade préliminaire ;
- Choisir la méthode de calcul qui correspond au mieux aux contraintes du terrain ;



2. Simulation du nouveau flux de matière première :

Etablir une simulation Excel afin de quantifier les besoins en matières premières et le stock de sécurité ;



3. Formulation des propositions d'organisation :

L'entrepôt n'étant pas en mesure d'absorber le nouveau flux, une solution de sous-traitance d'approvisionnement en matière première est envisagée. Plusieurs scénarios sont possibles, notamment sur la gestion des stocks de sécurité.

4. Analyse de faisabilité par les autres unités de l'usine



CONCLUSIONS

Pour le projet de réduction de Lead Time, les actions mises en place permettent de fiabiliser le processus en diminuant le risque d'erreur ou de détérioration des palettes; et en facilitant le travail des opérateurs; tout en respectant les spécifications clients (FIFO, filmage spécifique etc.).

Pour le dimensionnement de l'entrepôt, différents acteurs doivent étudier la faisabilité du projet.

Composite technique biosourcé matrice polymère 3D « verte » / renfort continu de bambou



CIRIMAT – Colette LACABANNE & Éric DANTRAS

MANGERET Gautier, IMAT

MI / Durabilité  
Master MECTS



OBJECTIFS

**Contexte :** Substitution des composites techniques organiques à matrice pétrosourcée et renforts synthétiques trouvant une application dans le secteur aéronautique (cabines d'aéronef).

- ❖ Déterminer le comportement physique par analyses calorimétriques de la matrice 3D biosourcée et déterminer ses propriétés mécaniques en cisaillement
- ❖ Réaliser les composites matrice polyépoxy biosourcée / renforts de bambou
- ❖ Évaluer l'impact de l'introduction des renforts de bambou dans la matrice sur le comportement thermomécanique du matériau
- ❖ Évaluer l'impact de la morphologie des renforts de bambou (ruban et fibre) sur le procédé de mise en œuvre des composites ainsi que sur le comportement thermomécanique du composite



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Plage de stabilité thermique réduite et prise en eau d'environ 3% en masse pour le composite ruban

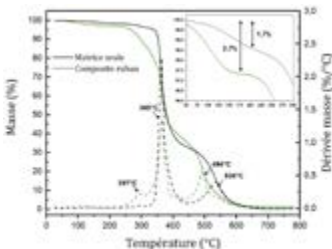


Figure 1 : Thermogrammes ATG sous air de la matrice seule et du composite ruban / zoom sur la perte de masse liée au départ de l'eau

Amélioration du module mécanique en cisaillement après l'introduction des renforts de bambou

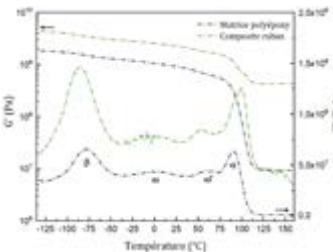


Figure 2 : Thermogrammes d'Analyse Mécanique Dynamique (AMD) de la matrice seule et du composite ruban

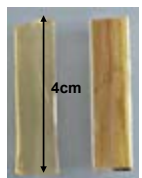


Figure 3 : Matrice polyépoxy seule (gauche) et composite ruban de bambou (droite)



CONCLUSIONS

- ❖ L'introduction de rubans dans la matrice réduit la plage de stabilité thermique du matériau et accroît son affinité avec l'eau
- ❖ Les propriétés mécaniques en cisaillement sont améliorées (modules vitreux et caoutchoutique)
- ❖ Comparaison des propriétés mécaniques et thermiques (stabilité et transitions thermiques) des composites entre les morphologies ruban et fibre à venir

Study of Hydrogen embrittlement susceptibility of low carbon-steels under Hydrogen environment for the energy sector



OCAS NV/ ArcelorMittal R&D Gent – Marc-Antoine Thual

Milanese Léo, IMAT

Durabilité



OBJECTIVES

Pipelines is a very cheap and efficient way for transporting large volumes of hydrogen gas. But to use it on a large scale for the growing hydrogen economy, it is necessary to **better understand the susceptibility of pipeline materials to hydrogen embrittlement (HE)**.

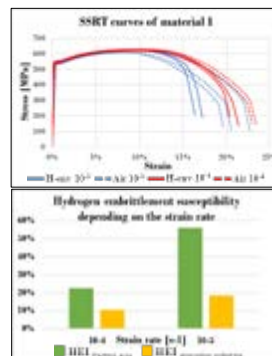
The **aims** of the current internship is to:

- **Determine the mechanical property degradation via in-situ slow strain rate tensile testing (SSRT)** on different types of low carbon steels (≠ chemistry; strength or format) in air and under electrochemical hydrogen charging.
- **Understand the fracture process (initiation site and crack propagation)** using Microscopy observations (**optical & SEM**).
- Make the link between the **microstructural features** and **Hydrogen embrittlement susceptibility of the tested materials** (Microstructure, Composition, Grain size, Amount of dislocation...) and **determine which microstructural feature is controlling The resistance to hydrogen embrittlement**.



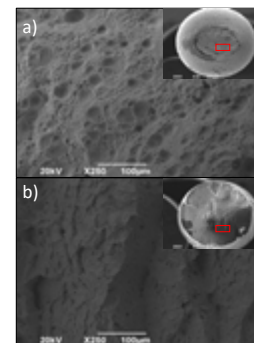
RESULTS

Determination of the working strain rate



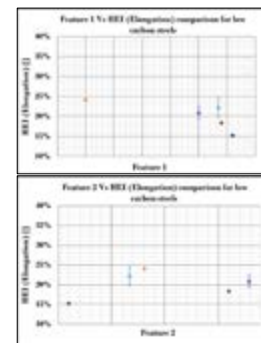
A 10<sup>-5</sup> strain rate gives highest HE because it lets more time to Hydrogen to diffuse in the material. A slower strain rate will allow to better compare the H-susceptibility of the tested materials.

Fractographies study



Hydrogen modifies the fracture behavior. SEM images of a same material showing a ductile behaviour in air (a) with dimples, and a brittle behaviour in H-environment (b) with cracks and larger quasi cleavage area.

First correlations between microstructure and HE susceptibility



These graphs are preliminary results (more materials are being tested) but already show that certain feature might have relationship with the HE susceptibility [feature 1] and some others don't [feature 2]. More features will be looked at and are being quantified at the moment.



CONCLUSIONS AND OUTLOOK

- In order to treat the data, early in the internship, a **routine was created to quickly and efficiently process the raw tensile test data** and obtain the necessary information (Elongation at fracture; Ultimate Tensile strength; Yield Strength...).
- The **working strain rate** was chosen to be equal to 10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>. The higher values for the HE indexes at lower strain rate provide a **better distinction between the different materials** and should make it **easier to read potential trends between material properties and susceptibility to hydrogen embrittlement**. This result confirms that that **HE susceptibility is greatly influenced by the strain rate**.
- **Fractography** observations confirm that the **fracture in air are ductile while the fractures in H-environment are quasi-cleavage like**. For each material tested in H-environment, we are **looking for the initiation sites to better understand the fracture mechanisms**. Additionally, **longitudinal cross sections on selected broken samples will be studied**. Quantification of the embrittled surface area is planned.
- A general chart has been built. This tool will allow to plot any feature of a material Vs its HE susceptibility. This chart is fed with results obtained in parallel of this internship (for example, quantification of the microstructure with the grain size, dislocation density, etc...). For some microstructural features, our preliminary results show **first tendencies which is quite promising for the rest of the internship**.



C2 - Confidential

Développement des procédés de transformation des pièces vertes obtenues par injections et FA en pièce composite



SAFRAN CERAMICS – BECHELANY Mirna

MONDINE Yohann, IMAT

MI / Fonctionnalité



OBJECTIFS

Safran

Troisième acteur mondial du secteur aéronautique.

Safran Ceramics

L'un des leaders mondiaux dans le domaine des composites à Matrice Céramiques (CMC)

- L'objectif principal est de **réduire la consommation de carburant** des avions civils et militaires, en remplaçant les super alliages par des **composites céramiques** (densité plus faible, ténacité supérieure et meilleure résistance à la température).
- Développement d'un **nouveau type de composite céramique** plus adapté pour les pièces **complexes** et de **petite taille** (à renfort discontinu).
- Développement et optimisation du procédé de transformation d'une pièce obtenue par injection ou FA en pièce brune (**déliantage**).



PRINCIPAUX RÉSULTATS

- La mise en forme du composite est réalisée par **injection** ou par **impression 3D** à l'aide d'un **liant thermoplastique**.
- L'étape de **déliantage** permet ensuite d'éliminer ce liant par montée en température et par effet capillaire sur un substrat poreux. C'est une **étape complexe** et extrêmement **sensible** où de nombreux paramètres sont à prendre en compte.
- Le matériau et le procédé de mise en œuvre de la pièce peut impacter son comportement au déliantage, il est donc primordial de maîtriser l'ensemble des **phénomènes physico-chimique** mis en jeu à chaque étape du procédé.
- A partir des notions théoriques et d'un **plan d'expérience**, les paramètres optimaux sont déterminés et validés par différentes **caractérisations** (Tomographie X, MEB, mesure de densité, Microscope Numérique ...) afin de vérifier la **santé matière** des pièces déliantées (figure 1)).

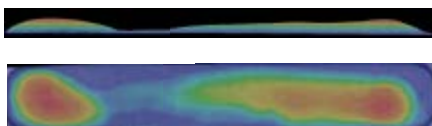


Figure 1 : Observation au microscope numérique des défauts superficiels d'une éprouvette CMC post déliantage.



CONCLUSIONS

Ce stage m'a permis d'approfondir mes connaissances sur les matériaux composites céramiques et de confirmer mon attirance pour la Recherche et Développement. Globalement, ce stage a permis de comprendre les différents phénomènes mis en jeu dans le procédé de déliantage, mais également de définir une procédure claire et adaptée pour les pièces complexes et de petite taille.

Chargée de mission ACV éco-conception



AMULIS – CHARLINE CLERGET

PAYAN Caroline, IMAT

Fonctionnalité / CONTRAT PRO



OBJECTIFS & MISSIONS

Amulis est une entreprise spécialisée en écoconception, management de la créativité et intelligence économique.

Mes missions  
Contribuer au développement de cette structure dynamique et engagée au travers d'activités diversifiées.

- Réalisation d'une **étude environnementale, ACV** avec revue critique d'un procédé de recyclage innovant, et des produits obtenus
- Accompagnement et formation de 3 entreprises** dans la mise en place d'une démarche globale d'**écoconception** (domaine éclairage et gobelets/gourdes réutilisables)
- Participation au déploiement de notre Serious Game 8co-concept : **Animation de séance de créativité, vente**



Making Durable



PRINCIPAUX RÉSULTATS

RÉSULTATS DE LA MISSION 1

ACV réalisée selon les principes de la norme ISO 14040 et les exigences de la norme ISO 14044.



Obtention des données environnementales d'un procédé de transformation de matières non valorisables par ACV

Comparaison de l'intérêt environnemental avec les produits classiques du marché

Planches & piquets Fabriquées grâce à la solution REPLACE

Obtention de l'empreinte environnementale des produits obtenus avec le procédé



CONCLUSIONS

1 Etude encore en cours

Se confronter à la réalité du terrain : temps de récolte des données, mise en relation tous les acteurs d'un projet (fabricant du procédé, fournisseurs, clients de la solution, jurys de revue critique)

Des résultats concrets sur les impacts environnementaux des produits :  
- Choix de solutions durables  
- Guide la stratégie d'innovation, amélioration continue

Des entreprises formées, autonomes pour étendre la démarche à tous leurs produits

Formulation d'une barbotine de céramique et amélioration du procédé de fabrication

TOULOUSE INP Ensiacét



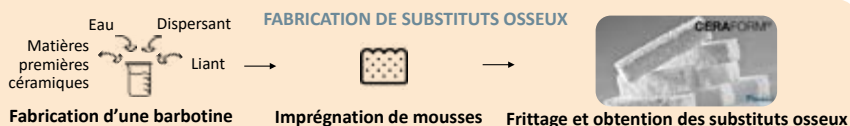
TEKNIMED – Karline PASCAUD



RAYNAL Camille, IMAT

MI / Fonctionnalité

OBJECTIFS



ETUDE RHÉOLOGIQUE ET FORMULATION DE BARBOTINES

- Etude des facteurs qui influencent la viscosité.
- Détermination des paramètres intrinsèques au liant (nature et concentration).
- Etude granulométrique des matières premières.

OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE PRODUCTION

- Etude comparative de 2 procédés de mélange de barbotines.
- Essais de validation d'un nouveau procédé de mélange.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1/ Identification des principaux paramètres qui influencent la viscosité de la barbotine :

Conditions opératoires

- Température
- Humidité
- Vitesse de mélange

Composition

- Quantité de matière première
- Nature et concentration du liant
- Nature et concentration du dispersant

Granulométrie

- Distribution granulométrique de la matière première
- Morphologie des grains

2/ Etude comparative de 3 liants : Suivi de viscosité de la barbotine en fonction de la concentration en liant. Le candidat le mieux adapté peut ainsi être sélectionné.



3/ Etude de l'influence de la viscosité sur les propriétés du produit fini :



Viscosité trop faible ou trop élevée : problèmes d'imprégnation, produit fini présentant des défauts.  
Viscosité intermédiaire : produit homogène.

CONCLUSIONS

FORMULATION D'UNE BARBOTINE

- Sélection d'un liant et définition de sa concentration.
- Choix d'une tranche granulométrique de matières premières.
- Définition d'une gamme de viscosité.

PROCÉDÉ DE MÉLANGE

- Définition des paramètres d'un nouveau procédé de mélange.

Formulation de plastiques recyclés à fort potentiel technique

TOULOUSE INP Ensiacét

VEOLIA – Yannick Gourbeyre



Remonet Ludovic, IMAT

MI / Fonctionnalité

OBJECTIFS

Déchets plastique en France 2020



Source: Plastics the Facts 2022, Plastics Europe

- > 3,5 millions de tonnes de déchets plastiques chaque année en France. => Engagement veolia: 610 000 tonnes de plastique recyclé dans nos usines d'ici 2023.
- > Principal moyen utilisé par veolia: **recyclage mécanique**, valorisation matière, pas de destruction de la structure chimique, mais modifications des propriétés physiques possible.
- > Le **polypropylène** est l'un des plastiques les moins chers, et le plus communément utilisés (Emballage, automobile...). => **Enjeu veolia: Proposer une matière première secondaire à plus forte valeur ajoutée en jouant notamment sur une plus haute technicité.**
- > Certaines applications de ce matériau demandent une bonne **résistance au choc** notamment à basse Température, l'objectif est alors d'optimiser cette propriété tout en conservant les autres caractéristiques mécaniques comme le **module de rigidité** par exemple.
- > Ces propriétés étant **antagonistes**, la mise en place d'un **plan d'expérience** semble être la meilleure solution pour optimiser les **compromis**.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

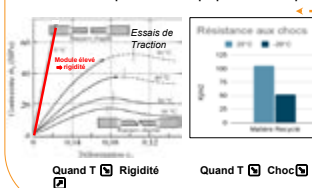
I-Bibliographie: Quels sont les paramètres impactant la propriété choc à froid?

- Utilisation d'Elastomère comme agent Anti-Choc
- Optimisation de la cristallinité du polypropylène avec des agents de nucléation
- Taux de Polyéthylène (autre polyoléfine pouvant être présent comme impurité)

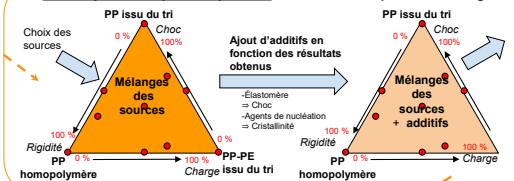
IV-Caractérisation:

- Physico-chimique :**
  - Calorimétrie
  - Taux de charge
  - Densité
  - Infrarouge
- Mécanique:**
  - Traction
  - Flexion
  - Choc à 20°C
  - Choc à Froid

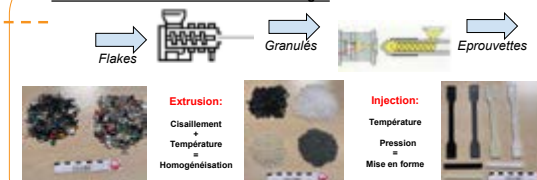
Influence de la température sur les propriétés mécaniques



II-Mise en place d'un plan d'expérience : Trouver un compromis Choc/Rigidité



III-Formulations et mise en forme des mélanges



CONCLUSIONS

Les techniques de recyclage mécanique sont **peu énergivores** et n'utilisent **pas de solvant**. Elles apportent une solution de valorisation appropriée au recyclage des matières plastiques. En s'appuyant sur des stratégies de formulation appropriées, il est possible d'obtenir des matières recyclées avec un **grade technique** élevé.

- > **Des possibilités existent** pour améliorer la tenue au choc du polypropylène, les appliquer sur une matière recyclée à basse température est un challenge
- > L'amélioration de la tenue au choc se fait généralement au détriment de la rigidité du matériau.
- > Trouver le **meilleur compromis** entre ces deux propriétés à l'aide de **formulations adaptées** (choix des sources, % d'incorporation, additifs...)

## Étude du lien procédé – microstructure – caractéristiques mécaniques pour un superalliage $\gamma/\gamma'$

TOULOUSE INP Ensiacét



Aubert & Duval – El SABBAGH Alexandre

RICHARD Julien, IMAT

Matériaux innovants / Durabilité

AUBERT & DUVAL

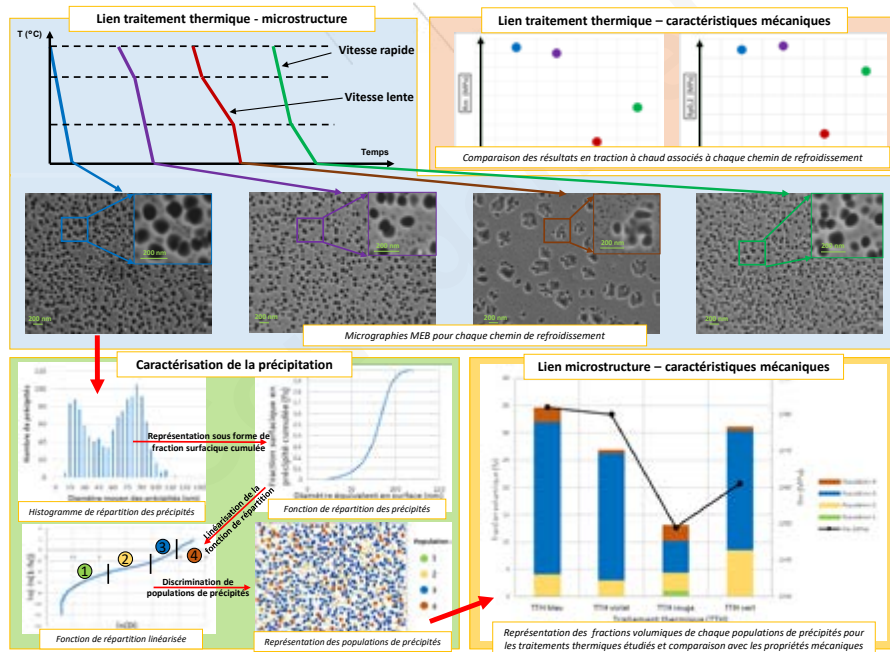


CONFIDENTIEL

### OBJECTIFS

- **Déterminer une nouvelle méthode de caractérisation des précipités** : Caractériser leur dispersion, leur multimodalité et en faciliter la modélisation.
- **Faire le lien entre le chemin thermique suivi et la microstructure de l'alliage** : Effet des variations de vitesse de refroidissement pendant la précipitation.
- **Établir le lien entre la microstructure et les propriétés mécaniques** : Prise en compte de différentes classes de précipités et de leur contribution aux propriétés mécaniques.

### PRINCIPAUX RÉSULTATS



### CONCLUSIONS

- Les différents chemins de refroidissement étudiés permettent de montrer quelles sont les plages de l'intervalle de précipitation les plus déterminantes et leurs influence sur les propriétés mécaniques de l'alliage.
- L'étude de la contribution de chaque population (indépendamment des autres) aux caractéristiques mécaniques n'a pas permis de distinguer clairement une population comme étant celle qui contribue le plus au durcissement de l'alliage. Il conviendrait ainsi de compléter le modèle avec des données supplémentaires pour en vérifier la pertinence.

## Étude du vieillissement hygrothermique d'un matériau composite

TOULOUSE INP Ensiacét



SEGULA TECHNOLOGIES – ANNE-CHRISTINE LOMBARDI

SAINT-AGUET Lucas, IMAT

MI / Fonctionnalité

SEGULA TECHNOLOGIES



### OBJECTIFS

Dans un souci d'amélioration de performances, de baisse du pouvoir d'achat et de sensibilité écologique, les acteurs du transport cherchent des alternatives notamment pour alléger les véhicules. Cette diminution se faisant en deux étapes : en optimisant l'architecture du véhicule et dans la recherche de nouveaux matériaux composites, légers et de hautes performances mécaniques.

Le projet de recherche auquel ce stage est rattaché vise à étudier le vieillissement hygrothermique (humide) d'un matériau composite constitué d'une matrice thermoplastique et de renforts fibreux naturels. Ce stage se concentre spécifiquement sur l'étude d'une matrice thermoplastique afin de mieux comprendre l'évolution de ses propriétés au fil du temps. Cela a pour but final de simuler l'utilisation d'une voiture en condition réelle sur le long terme, avec les variations de chaleur et d'humidité, en fonction des saisons et des différents climats mondiaux.

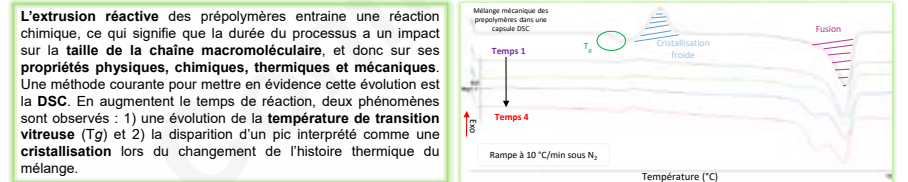
Le projet s'articule autour de plusieurs étapes clés :



### PRINCIPAUX RÉSULTATS

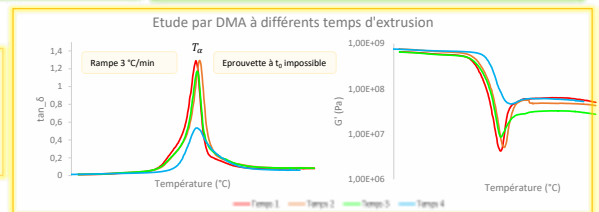


La première étape expérimentale consiste à fabriquer des échantillons à partir de 2 prépolymères réactifs qui seront ensuite soumis à une batterie de tests afin d'évaluer leurs propriétés initiales. Leur réactivité et leur nature cristalline représentent un défi majeur dans l'établissement des conditions de fabrication via extrusion et son injection. Une approche empirique a permis de déterminer les conditions opératoires adéquates pour obtenir des éprouvettes en forme d'halètes.



Kolesov, I.; Andrasch, R. The Rigid Amorphous Fraction of Cold-Crystallized Polyamide 6. *Polymer* 2012, 53 (21), 4740–4777. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2012.08.017>.

La DMA est une analyse thermomécanique qui permet de mesurer les températures de relaxation ( $T_\alpha$ ) ainsi que l'évolution des modules de cisaillement du matériau ( $G'$ ). L'étude sur le  $G'$  et la  $\tan \delta$  permettent de comprendre l'évolution des macromolécules au long de la réaction.



### CONCLUSIONS

- Les différentes études des paramètres ont permis d'établir un cycle de procédé et une méthodologie visant à minimiser la présence d'imperfections dans les échantillons. Cela garantit la possibilité d'exploiter les analyses mécaniques de manière optimale.
- Les résultats obtenus sont complémentaires, ce qui permet de voir l'évolution dans la taille de la chaîne macromoléculaire. En effet, le facteur d'amortissement ( $\tan \delta$ ) montre une diminution de la mobilité moléculaire en accord avec les résultats de DSC, indiquant une progression de la réaction et donc une augmentation de la  $T_g$ .

Formulations d'électrodes négatives pour batteries Sodium-ion



RENAULT GROUP – ADRIEN MÉRY

SIRDEY Paul, IMAT

MI / Fonctionnalité

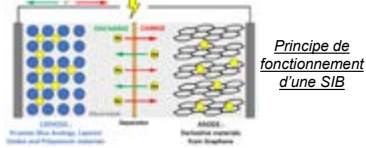


OBJECTIFS

Renault est un constructeur automobile français qui existe depuis 1898. A travers son alliance avec Nissan et Mitsubishi, le Groupe Renault est le 4<sup>ème</sup> groupe automobile mondial en terme de ventes de véhicules en 2022.

Face à l'épuisement des ressources présentes dans les batteries Lithium-ion (LIB) et l'augmentation du prix de ces dernières, les constructeurs automobiles cherchent de nouvelles alternatives. Les batteries Sodium-ion (SIB) pourraient être une de ces alternatives, notamment face à l'épuisement des ressources. Le sodium, l'un des éléments les plus abondants sur Terre, n'est pas une ressource critique, contrairement au lithium. L'exploiter en tant que matériau de batterie permettrait de réduire le coût des matières premières, et donc potentiellement le coût total de ces batteries.

Le graphite, utilisé comme matériau d'électrode négative dans les batteries au lithium ne peut pas être utilisé dans les batteries au sodium. Il est remplacé dans ces dernières par un autre matériau carboné : le **Hard Carbon (HC)**.

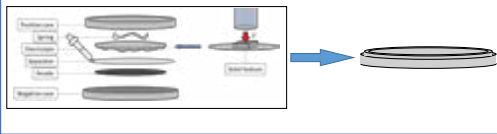


Ce stage vise à étudier le Hard Carbon en tant que matériau d'électrode négative pour SIB et de faire le lien entre **performances électrochimiques** et **propriétés physico-chimiques** du matériau.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

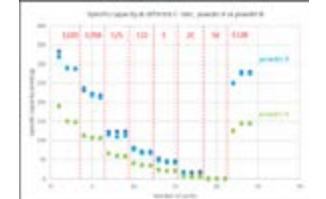
Assemblage des piles boutons (PB) :



Caractérisations :

Des analyses thermogravimétriques du HC sont réalisées afin de détecter la présence de matériaux organiques et d'humidité d'une telle poudre. D'autres analyses (BET, Raman, granulométrie laser...) sont également réalisées pour caractériser le HC.

Electrochimie :



Des cyclages sont réalisés à différents régimes de charge/décharge. En sont déduits la stabilité dans le temps, les capacités spécifiques, l'ICE (Initial Coulombic Efficiency), ainsi que le comportement des cellules à différents régimes de courant.



CONCLUSIONS

Les 1ers résultats mettent en évidence que le Hard Carbon est capable de présenter des capacités spécifiques intéressantes à faible courant. Les propriétés électrochimiques des Hard Carbon dépendent fortement de leurs propriétés physico-chimiques. La porosité, la taille des particules, la composition des poudres, leur structure et densité auront un impact direct sur leurs capacités électrochimiques.

Confidential ©

Characterization of materials by image analysis



SAINT-GOBAIN RESEARCH PROVENCE – Julien Moriceau

TAKAHASHI Kento, IMAT

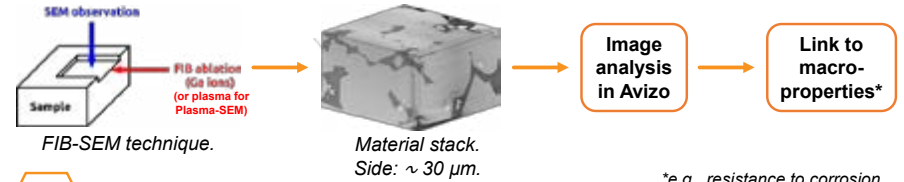
Lund University, Sweden



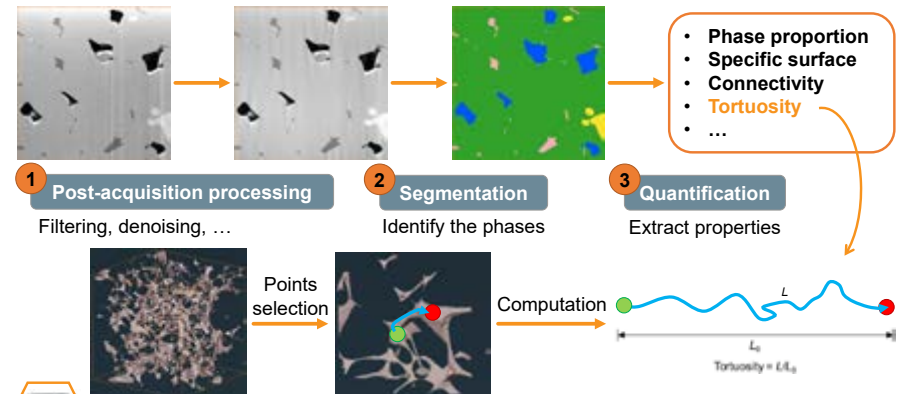
GOALS

- Analysis of **FIB-SEM** and **Plasma-SEM** acquired 3D stacks of **refractory materials for glass melting furnaces**.
- Obtain precise **quantitative data** on the analyzed materials.
- Develop **efficient and rapid** image analysis methods.

- Use of **Avizo** (image analysis software).
- **Python** modules for quantification.



MAIN RESULTS



CONCLUSIONS

- **Efficient, precise and automated** method → can be applied to new stacks.
- **Results consistent** with previous works.
- **8 FIB-SEM** and **2 Plasma-SEM** stacks **treated and compared**.
- Much faster method: **1 week before** → **up to 2 days now**.
- Prospects: Use of **Machine Learning** to automate the Segmentation step.



Validation expérimentale de modèles de transformation au refroidissement et de revenu pour le soudage des aciers C-Mn.



Électricité de France – Flore Villaret

VERRIER Hugues, IMAT

Matériaux / Durabilité



OBJECTIFS

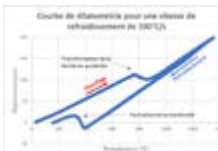
Le service de R&D d'EDF développe actuellement des outils de simulation numérique du soudage (SNS) afin de prévoir le comportement en service et lors du vieillissement dans les soudures du circuit secondaire des centrales nucléaires. Ces outils de SNS ont besoin en entrée d'un diagramme Temps Refroidissement Continu (TRC). Les diagrammes TRC peuvent être obtenus expérimentalement, mais ils ne sont pas connus pour toutes les compositions. Dans le cadre des aciers C-Mn utilisés pour le circuit secondaire deux modèles peuvent être utilisés : le modèle de L (donne directement un TRC en sortie) et le modèle de PREVERT (donne uniquement des vitesses critiques en sortie mais prend en compte l'effet d'un revenu). Cependant ces modèles ont été calibrés avec des nuances différentes et des conditions de refroidissement éloignées du soudage. L'objectif de ce stage est donc :

- Réaliser des diagrammes TRC et TRCS et les comparer aux prédictions des modèles de Li et PREVERT pour différentes nuances d'acier faiblement alliés
- Etudier le comportement au revenu de ces nuances d'acier
- Conclure sur la validité de ces modèles et si ils peuvent être améliorés



PRINCIPAUX RÉSULTATS

Etape 1: Dilatométrie/Traitement thermique



Courbe de chauffage refroidissement à vitesse constante obtenue à l'aide d'un dilatomètre

L'identification des transformations se fait grâce à un dilatomètre. En effet, lors d'un changement de micro-structure les coefficients d'expansion thermique suivent une loi de mélanges et donc le changement de volume du matériau n'est plus linéaire en fonction de la température pendant la transformation. Les températures de début et de fin de transformation sont déterminées par la méthode des tangentes. On peut voir sur la gauche la courbe de dilatométrie d'un acier P355 chauffé à 1350°C puis trempé à 100°C/s.

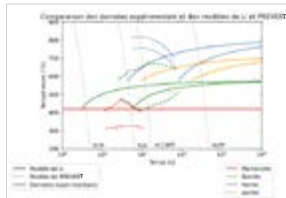
Etape 2: Microscopie optique



Microscopie optique après attaque nitric 2%, microstructure 100% martensitique

L'observation microscopique après refroidissement de l'échantillon permet d'identifier les micro-structures présentes pour ensuite les associer aux transformations identifiées grâce aux courbes de dilatométrie. La combinaison de la dilatométrie et de la microscopie optique permet de reconstituer le diagramme TRC/ TRCS.

Etape 3: Comparaison modèles de transformation/ TRC expérimentaux



Superposition des TRC expérimental et du modèle de Li ainsi que les vitesses critiques du modèle de PREVERT. Pour un P355 austénisé à 1350°C pendant 30s et une taille de grains ASTM 2

On compare ensuite aux modèle de Li et de PREVERT, le modèle de Li donne directement en sortie un TRC pour les micro-structures suivantes : martensite, bainite, ferrite et perlite. Les deux modèles prennent en entrée la composition chimique des alliages ainsi que la taille des anciens joints de grains d'austénite mesurée par la méthode des intercepts après attaque thermique.

Le modèle de PREVERT donne uniquement des vitesses critiques de formation : (VCM : vitesse de formation de 100% de martensite, Vcb: vitesse de formation de 100% de bainite, Vc10FP la vitesse limite en dessous de laquelle on a 10 pourcent de ferrite perlite et VcFP la vitesse critique en dessous de laquelle on forme uniquement de la ferrite perlite).

On peut voir ici que les deux modèles sont « décalés vers la gauche », l'apparition de la bainite pour des vitesses de refroidissement élevées. La température de formation de la martensite est correcte, mais les températures de début de transformation de la ferrite et de la bainite sont sous-estimées. Ainsi l'acier est plus trempant que prédit par les modèles. Les duretés post dilatométrie sont mesurées aussi et comparées à celles prédites par les deux modèles. Elles sont proches de celles mesurées expérimentalement.



CONCLUSIONS

D'autres nuances doivent encore être testées pour savoir si les modèles prédictifs peuvent être utilisés et sinon comprendre quels éléments d'additions faussent les prédictions des modèles (certains éléments limite la taille des anciens grains d'austénite par épinglage des joints de grain par exemple).

L'effet du revenu doit aussi être testé ainsi que les diagrammes TRCS qui ont des vitesses de refroidissement plus proche de celles rencontrées lors du soudage.



Naldeo

Un acteur engagé **AU CŒUR DE LA TRANSITION**  
écologique, énergétique, hydrique et digitale

**Toulouse INP-ENSIACET**  
4 allée Emile Monso - CS 44362  
31030 Toulouse Cedex 4  
+ 33 (0)5 34 32 33 00

**TOULOUSE**  
**INP Ensiacet**

L'école de la transformation  
de la matière et de l'énergie

[www.ensiacet.fr](http://www.ensiacet.fr)

Naldeo  
GROUP

Parrain de la promotion  
[www.naldeo.com](http://www.naldeo.com)