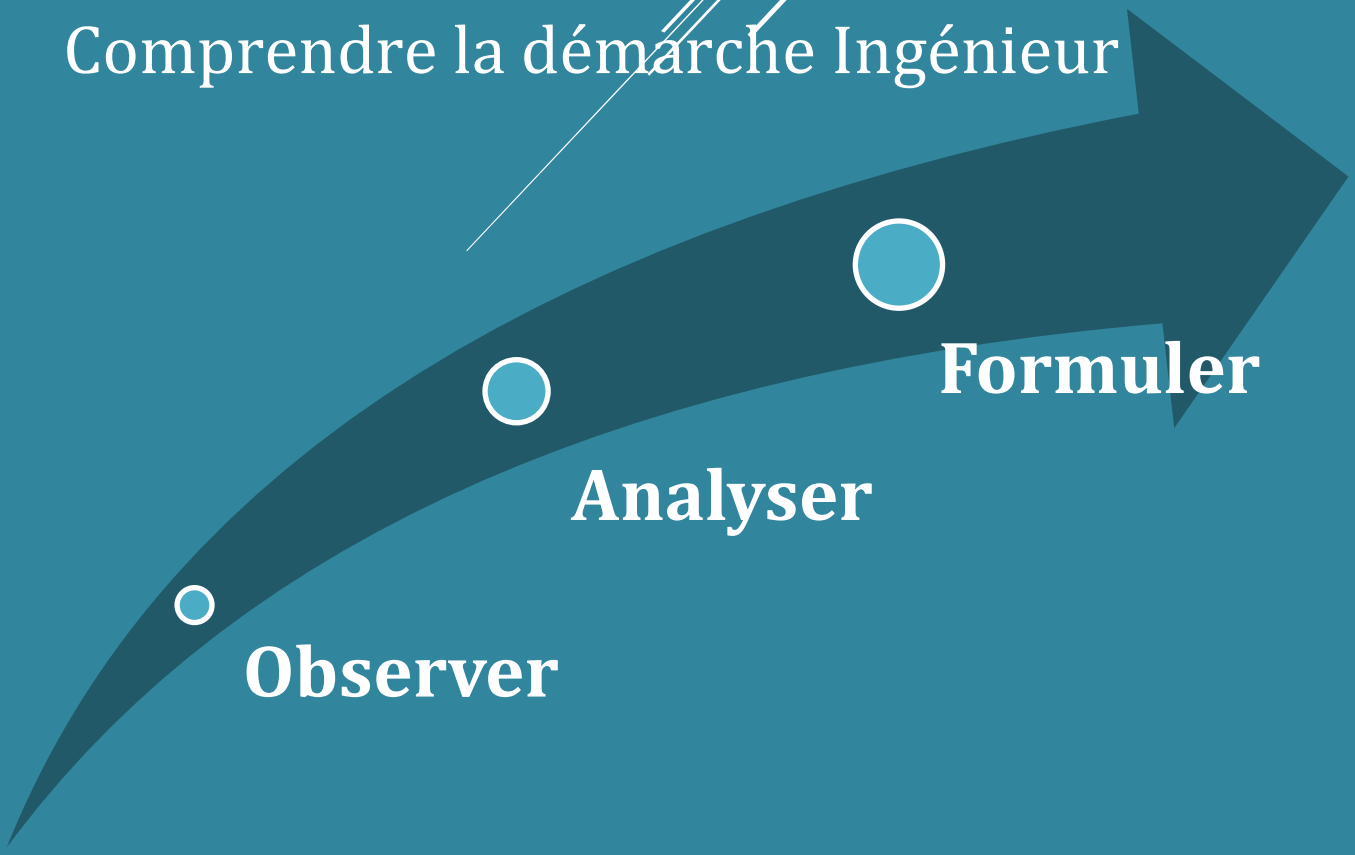
MINES PARIS | PSL

# MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR GÉNÉRALISTE [MIG]

## Comprendre la démarche Ingénieur




## CYCLE INGENIEURS CIVILS

UE 15 : 1er semestre /2024-2025

# SOMMAIRE


| | |
|---|---|
| *P.2* | *MIG : METIERS DE L'INGENIEUR GENERALISTE* |
| *P.4* | Le programme : contenu, format, déroulement |
| *P.5* | Un enseignement en mode projet |
| *P.6* | les + pédagogiques |
| *P.7* | Centres de recherche impliqués |
| *P.8* | Calendrier du programme MIG (3 semaines bloquées) |
| *P.9* | MIG R-SOURCES |
| *P.10* | MIG EMIX |
| *P.11* | MIG ALEF |
| *P.12* | MIG OCEAN |
| *P.13* | MIG SOLAIRE |
| *P.14* | MIG SANTE |
| *P.15* | MIG VERRE 4.0 |
| *P.16* | MIG OPTIM AERO |
| *P.17* | MIG MODE & LUXE |

# MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR GÉNÉRALISTE [MIG]

## UNE MÉTHODE PÉDAGOGIQUE AU CŒUR DES ENJEUX DE L'INDUSTRIE DU FUTUR ET DE LA SOCIÉTÉ

**L**es « Métiers de l'Ingénieur Généraliste » (MIG) est un enseignement créé par Mines Paris pour plonger **tous les élèves de 1ère année** au cœur des enjeux de l'industrie du futur et de la société.

Stimulant et fédérateur, cet exercice intensif en **mode projet par équipe** sur le premier semestre, dont **trois semaines bloquées** offre aux étudiants de nouvelles méthodes de travail et une vision précise sur les réalités de leur futur métier.

Cette formation, emblématique de Mines Paris, conçue en étroite relation avec la recherche menée dans nos laboratoires et nos partenaires industriels, **préfigure les métiers de demain et le futur professionnel de nos étudiants ingénieurs.**

Les futurs ingénieurs se nourrissent d'échanges avec différents acteurs de la société pour résoudre, en équipe de quinzaine, les **problématiques transversales**, techniques, économiques, sociétales et environnementales.

**Ils participent à des visites de sites technologiques de pointe**, et assistent à des **conférences d'experts** au cœur du monde industriel.

Les défis à relever par les élèves s'inscrivent dans des grands enjeux de l'industrie du futur et de la société comme par exemple :

- De la transformation à la gestion des ressources énergétiques
- Transition énergétique et aménagement du territoire
- Sous-sol et infrastructures
- Matériaux et analyse du cycle de vie
- Sciences des données et applications innovantes
- Ingénierie de la santé

Ce travail donne lieu à une note de synthèse et un rapport de groupe écrit ainsi qu'à une **soutenance ouverte en amphi et à large public fin janvier.**

## CONTEXTE, ENJEUX ET OBJECTIFS

Dans un monde en perpétuelle transition technologique, la société dans toutes ses composantes a besoin d'ingénieurs capables d'appréhender, d'accompagner et d'imaginer les systèmes technologiques complexes qui la composent et en assurent le développement durable et responsable. Il est donc impératif que la formation de nos ingénieurs telle que nous la proposons inculque dès le début de son cycle les concepts fondateurs de cette approche généraliste comme la démarche scientifique, la nécessité d'analyser le problème posé de manière ouverte, multipartite et pluridisciplinaire, en intégrant l'ensemble des enjeux scientifiques, technologiques, éthiques, économiques, sociétaux et environnementaux.

L'UE des MIG doit permettre de faire découvrir aux élèves ingénieurs, les grands enjeux de notre société, à savoir :

« 1- **Relever les défis du 21e siècle**, dans le cadre national certes, où se définissent et se mettent en œuvre les politiques éducatives, mais aussi dans un contexte international de plus en plus marqué en Europe par la construction de l'Union européenne, par la mondialisation qui s'étend aussi à l'éducation et par la montée en puissance de la « société de la connaissance ».

2- **Contribuer au développement** du pays, dont le dynamisme économique dépendra de plus en plus des retombées de la recherche et de l'innovation » *(extrait texte Commission des Titres Ingénieurs).*

**M**ines Paris a mis en place un plan stratégique afin de former l'ingénieur de demain qui devra répondre aux défis identifiés suivant : la transformation numérique, le développement durable et écologique et la mobilité internationale.

De plus l'Ecole a réussi à consacrer une énergie significative à de grands enjeux comme la maîtrise des matières premières et recyclées, l'énergétique du futur, la méthodologie et l'efficacité des processus d'innovation. Ainsi Mines Paris déploie une recherche dans des domaines allant **des sciences exactes aux sciences humaines** et permet aux étudiants de bénéficier d'un **encadrement pluridisciplinaire et répondant aux enjeux de l'industrie du futur.** Enfin, l'association d'une recherche partenariale contractualisée en direction des entreprises et des services et l'excellence académique en sciences de l'ingénieur des centres de Recherche permet d'identifier et construire en partenariat avec les entreprises des projets pédagogiques en lien direct avec les enjeux industriels de demain.

La formation Ingénieur civil en trois ans à Mines Paris prépare les élèves à devenir des ingénieurs avec d'importantes responsabilités professionnelles.

Pour y parvenir, les élèves doivent acquérir des connaissances et **développer des compétences personnelles qui deviendront des compétences-métiers.** Les MIG, tiennent une place significative dans cette démarche d'acquisition de compétences métiers pour l'ingénieur. Dans cet enseignement par projet, les élèves sont mis en situation, ils doivent résoudre, **en équipe (15-16 élèves)**, des **problématiques transversales**, techniques, économiques et sociétales.

**L**'objectif est de vous aider à faire **évoluer rapidement vos pratiques** d'élèves, acquises aux cours de formations en classe préparatoire, liées à résoudre seuls des problèmes bien posés. Les situations réelles complexes demandent pour être résolues de façon efficiente d'agir de façon autonome en interactions dans des groupes hétérogènes.

Ainsi par la mise en situation de chaque projet MIG, vous allez devoir développer un ensemble de compétences et mettre en œuvre des ressources (des savoirs agir).
Par ailleurs, Le but est de vous faire découvrir concrètement certains aspects des métiers de l'ingénieur généraliste, tout particulièrement **l'analyse de problèmes complexes,** la **mise en place d'une démarche scientifique rigoureuse** permettant de résoudre ces problèmes dans le temps imparti et le **travail en équipe**.

Enfin, les MIG doivent vous permettre d'établir des liens privilégiés avec les enseignants-chercheurs et de **découvrir les centres de recherche de l'Ecole**, leur ouverture internationale et leurs liens étroits avec les entreprises. Ils seront aussi, pour vous, l'occasion de commencer à **acquérir une culture industrielle**.

Nous vous souhaitons de vous investir pleinement dans votre MIG et de connaître ainsi le même enthousiasme que les promotions précédentes et l'ensemble des personnes — Enseignant-chercheurs, industriels… — associés aux MIG.

Responsable des MIG
Yazid MADI
*Enseignant-Chercheur, HDR*

# LE PROGRAMME : CONTENU, FORMAT ET DÉROULEMENT

## THÉMATIQUES

Les sujets sont renouvelés chaque année, ils sont en lien avec les thématiques développées dans nos laboratoires et nos partenaires industriels :

- De la transformation à la gestion des ressources énergétiques
- Transition énergétique et aménagement du territoire
- Sous-sol et infrastructures
- Matériaux et analyse du cycle de vie
- Sciences des données et applications innovantes
- Ingénierie de la santé

## CHOIX

Les 9 MIG vous seront présentés en amphi V.107. Vous choisirez celui auquel vous souhaitez participer et, le jour même avec l'aide de votre délégué de promotion, vous vous répartirez en 9 groupes. L'expérience des élèves prouve que le sujet importe moins que la découverte et la démarche d'un MIG. Les MIG sont d'ailleurs, depuis leur création, la première activité pédagogique plébiscitée par les élèves en première année.

## PROGRAMME

Les MIG ont lieu au cours du premier semestre.

La période bloquée de trois semaines implique de fréquents déplacements et inclut les trois activités du MIG (les visites d'entreprises et les conférences, les travaux d'expérimentation et/ou de modélisation, les mini-projets). Chacune de ces trois activités correspond à l'équivalent en temps d'une semaine. Mais le détail de leur organisation dépend de chaque MIG.

Au retour de la période bloquée, des séances ayant lieu à l'Ecole vous permettent de préparer la restitution globale des travaux. Vous êtes invités à porter un soin tout particulier à cette préparation qui engage l'ensemble du groupe.

Le rapport, écrit collectivement par groupe de MIG, porte sur les aspects globaux et transversaux du thème abordé. Il est à déposer (sur la plateforme campus) sous format d'un document PDF. Dans certains cas et en fonction de leurs qualités, certains rapports pourront être diffusés à l'extérieur de l'Ecole.

Enfin lors de la journée de soutenance orale, chaque groupe d'élèves fait une soutenance orale d'une heure. La soutenance est conçue et exposée par le groupe, chaque élève doit intervenir. **Tous les élèves de la promotion assistent à toutes les présentations des MIG**. Des industriels, des journalistes et des personnalités extérieures à l'Ecole seront présents. Vous pourrez également inviter vos professeurs des classes préparatoires.

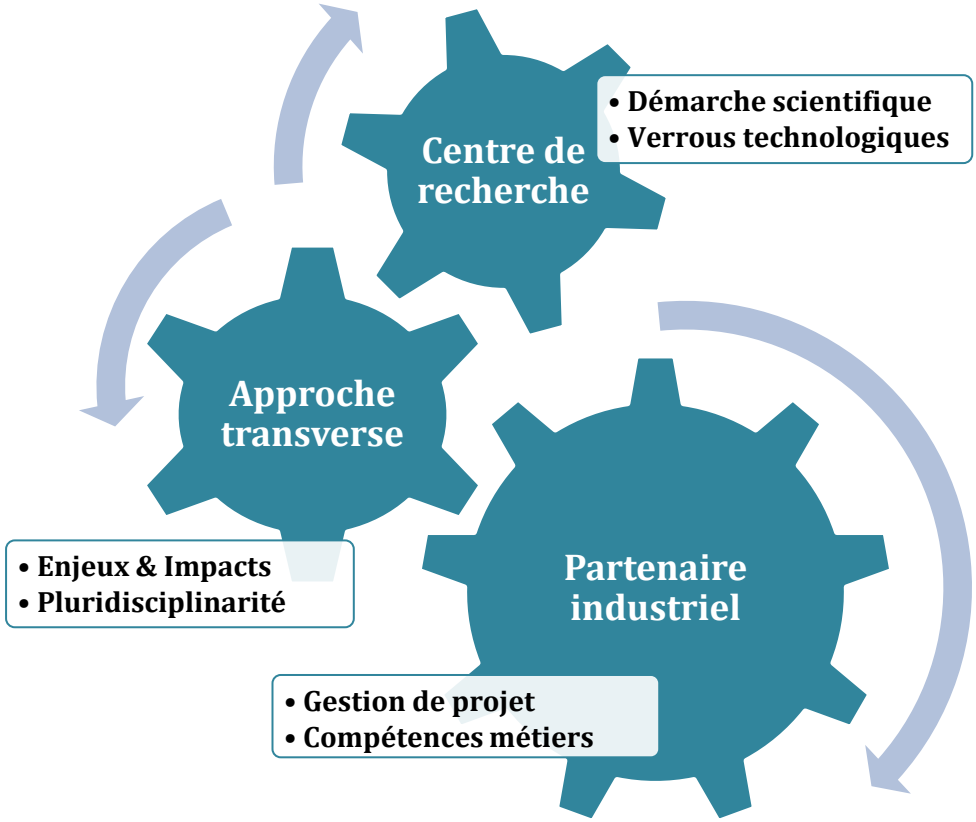
## ORGANISATION

Sous la responsabilité d'un coordinateur, chaque MIG se déroule en s'appuyant sur les centres de recherche de l'Ecole et bénéficie de l'aide de nombreuses entreprises.

Afin d'assurer la cohérence de l'ensemble des MIG, un comité de suivi des MIG réfléchit aux orientations pédagogiques et aux évolutions. Les élèves sont associés à cette réflexion pour les améliorations à apporter. En particulier, vos réponses au questionnaire d'évaluation des MIG sont très importantes pour une amélioration continue.

## LE MIG, UNE INITIATION AUX REALITES DU METIER D'INGENIEUR

UNE IMMERSION PAR PROJET, UNE DÉMARCHE COMPÉTENCES
UNE OUVERTURE AUX CHAMPS PLURIDISCIPLINAIRES
UNE APPROCHE DU MILIEU INDUSTRIEL ET DE LA RECHERCHE




### UN ENSEIGNEMENT EN MODE PROJET POUR

- Mettre en œuvre un travail d'approfondissement scientifique et technique
- Acquérir des bases d'organisation
- Avoir une première expérience de la réalisation et de la gestion de projet
- Favoriser la collaboration entre élèves et chercheurs

**Enjeux scientifiques & techniques**

- Mobiliser les ressources d'un champ scientifique et technique spécifique
- Appréhender les méthodes et outils de l'ingénieur
- Elaborer une démarche de recherche et développement
- Prendre en compte les enjeux sociétaux et environnementaux

**Enjeux organisationnels & professionnels**

- Pratiquer le travail collaboratif
- Appréhender l'exercice de la responsabilité, de la gestion de projet
- Gérer les contraintes temporelles
- Rendre compte et communiquer avec des spécialistes et non spécialistes

## UNE MÉTHODE PÉDAGOGIQUE AU CŒUR DES ENJEUX DE L'INDUSTRIE DU FUTUR ET DE LA SOCIÉTÉ

Qui associe « Théorie & Pratique » et s'appuie sur des sujets allant de la recherche appliquée à l'ingénierie. Les sujets relèvent soit de l'étude en profondeur d'une discipline ou de la mise en œuvre de connaissances issues de plusieurs disciplines et présentent un enjeu scientifique, économique et environnemental intéressant.

### LES + PÉDAGOGIQUES

- Des projets (conduite et gestion) en groupe sur des études de cas industriels
- Des apports méthodologiques et des démarches-outils
- Des visites de sites technologiques de pointe
- Des conférences d'experts

### MODE D'ÉVALUATION

Cet enseignement fait l'objet d'une évaluation individuelle (3 ECTS) et collective (3 ECTS) soit 6 ECTS crédités par MIG. L'évaluation prend la forme d'une rédaction d'un rapport collectif et d'une soutenance orale collective devant un jury. Elles visent à évaluer les capacités du groupe à :

- Mobiliser des connaissances scientifiques ou techniques pour analyser une situation concrète
- Repérer les enjeux et/ou les problématiques du sujet abordé dans le cadre du projet
- Présenter oralement et avec clarté une argumentation scientifique et technique

Les critères d'évaluation individuelle portent sur la part personnelle ayant contribué à l'avancement du projet collectif. Voir en annexe la grille afférente.

## UN PROGRAMME CONÇU POUR VOUS ET AVEC VOUS

Vous aurez à résoudre seuls des problèmes bien posés. Par la mise en situation de chaque projet MIG, vous allez devoir développer un ensemble de compétences et mettre en œuvre des ressources. Encadrés par des enseignants-chercheurs de l'Ecole, vous et votre groupe (de 14 ou 15 élèves) aurait à traiter un problème complexe qu'il s'agit de découvrir dans ses principales dimensions, bien sûr scientifique et technique, mais aussi transversales (socio-économie, gestion, droit, environnement, … selon le domaine traité).

9 sujets différents, vous sont proposés. Ils reflètent tous l'actualité des thèmes de recherche développés par les centres de l'Ecole et l'industrie. Les défis que vous aurez à relever s'inscrivent tous dans des grands enjeux de l'industrie du futur et de la société.

Enseignement personnalisé, votre présence à toutes les activités est donc strictement obligatoire pour le bon fonctionnement du groupe (comme en entreprise).

### DES ENCADRANTS DÉDIÉS ET A L'ÉCOUTE

Pour vous accompagner tout au long de votre projet, de l'élaboration à la gestion :

Une équipe pédagogique constituée de :

- Un responsable de la conception du programme MIG
- Un comité de suivi des MIG
- Une équipe d'enseignants-chercheurs, de chercheurs et d'experts issus du secteur industriel

Une équipe en charge de l'organisation et de l'encadrement des MIG :

- Un ou 2 coordinateurs
- Un centre de recherche référent

## DURÉE DU PROGRAMME

15 jours sur le 1er semestre
De mi-novembre à fin janvier (périodes bloquées)
Volume horaire : environ 111h (7h30/Jour)

**Evaluation (nb crédit MIG : 6 ECTS)**

**Note individuelle : 3 ECTS**

- Evaluation par coordinateurs

**Note collective : 3 ECTS**

- Note de synthèse et rapport technique
- Soutenance orale devant jury

## CENTRES DE RECHERCHE IMPLIQUES

LA RECHERCHE A MINES PARIS EST STRUCTUREE AUTOUR DE CINQ GRANDES THEMATIQUES, ENJEUX D'AVENIR, CORRESPONDANT A CINQ DEPARTEMENTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE. CHAQUE DEPARTEMENT EST ORGANISE EN CENTRES DE RECHERCHE.

Les centres de recherches directement impliqués dans les MIG sont soulignés en vert.
Vous êtes invités à découvrir l'ensemble des centres de recherche Mines Paris via l'adresse web : https://www.minesparis.psl.eu/

DEPARTEMENT SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

- Centre de géosciences (GEOSCIENCES) – Fontainebleau
- Institut supérieur d'ingénierie et gestion de l'environnement (ISIGE) – Fontainebleau

DEPARTEMENT ENERGETIQUE ET PROCEDES

- Centre Energie Environnement Procédés (CEEP) – Palaiseau / Fontainebleau
- Centre Observation, Impacts, Énergie (O.I.E.) – Sophia Antipolis
- Centre Procédés, Energies Renouvelables, Systèmes énergétiques (PERSEE) – Sophia Antipolis

DEPARTEMENT MECANIQUE ET MATERIAUX

- Centre de mise en forme des matériaux (CEMEF) – Sophia Antipolis
- Centre des matériaux PM FOURT (CMAT) – Evry

DEPARTEMENT MATHEMATIQUES ET SYSTEMES

- Centre automatique et systèmes (CAS) - Paris
- Centre de robotique (CAOR) - Paris
- Centre de bio-informatique (CBIO) - Paris
- Centre de mathématiques appliquées (CMA) – Sophia Antipolis
- Centre de morphologie mathématique (CMM) – Fontainebleau
- Centre de recherche en informatique (CRI) – Fontainebleau

DEPARTEMENT ECONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIETE

- Centre d'économie industrielle (CERNA) - Paris
- Centre de gestion scientifique (CGS) - Paris
- Centre de recherche sur les risques et les crises (CRC) – Sophia Antipolis
- Centre de sociologie de l'innovation (CSI) - Paris

# CALENDRIER DU PROGRAMME 2024-2025

## *PRESENTATION DES MIG*

***VENDREDI 20 SEPTEMBRE 2024| 8h45-12h20– Amphi L. 108 A***

| | |
|---|---|
| ***INTRODUCTION*** | **8h45-9h00** |
| *MIG VERRE 4.0* | 9h05-9h20 |
| *MIG SANTE* | 9h25-9h40 |
| *MIG R-SOURCES* | 9h45-10h00 |
| ***PAUSE*** | **10h05-10h20** |

| | |
|---|---|
| *MIG SOLAIRE* | 10h25- 10h40 |
| *MIG MODE&LUXE* | 10h45-11h00 |
| *MIG OPTIM AERO* | 11h05-11h20 |
| *MIG EMIX* | 11h25-11h40 |
| *MIG OCEAN* | 11h45-12h00 |
| *MIG ALEF* | 12h05-12h20 |

## *PERIODE BLOQUEE | 3 SEMAINES (phase 1)*

***DU LUNDI 18 NOVEMBRE 2024 AU VENDREDI 6 DECEMBRE 2024***

| ***MIG*** | **CENTRE** | **LIEU** | **COORDINATEURS** | |
|---|---|---|---|---|
| *ALEF* | PERSEE | Sophia | P. Affonso Nobrega | |
| *OPTIM AERO* | CMAT | Evry | P. Arnaud | |
| *OCEAN* | CRC | Sophia | S. Travadel | F. Guarnieri |
| *MODE&LUXE* | CMAT, EnaMoma PSL | Paris /Evry | F. Delloro | |
| *SOLAIRE* | OIE | Sophia | Ph. Blanc | E. Magliaro |
| *EMIX* | CEEP | Paris /Palaiseau | M. Campestrini | S. Hoceini / T. Plays |
| *SANTE* | CMAT/DIRENS/CGS /CMM | Paris | M. Mazière/N. Villafruella | F. Kletz/P. Dokladal |
| *VERRE 4.0* | CEMEF | Paris / Sophia | F. Pigeonneau | |
| *R-SOURCE* | GEOSCIENCES | Paris /Font. | F.Hadj-Hassen | I. Thenevin |

## REMISE DE LA NOTE DE SYNTHSE ET RAPPORT TECHNIQUE *(phase 2)*

| | | |
|---|---|---|
| VENDREDI 20 DECEMBRE 2024 | 12h00 | Remise de la note de synthèse et du rapport technique |

## PREPARATION A LA SOUTENANCE ORAL *(phase 3)*

| | | |
|---|---|---|
| JEUDI 9 JANVIER 2025 | 09h00-12h15 | Préparation à la soutenance orale |
| LUNDI 13 JANVIER 2025 | 15h30-17h00 | |
| JEUDI 16 JANVIER 2025 | 09h00-12h15 | |
| LUNDI 20 JANVIER 2025 | 15h30-17h00 | |
| LUNDI 27 JANVIER 2025 | 13h45-17h00 | |

## SOUTENANCES ORALES

| | | |
|---|---|---|
| JEUDI 30 JANVIER 2025 | 8h45-17h15 | Soutenances orales en L.108 A et L.108 B |

Un site dédié :
☞ https://mig.minesparis.psl.eu/

# ETUDE PROSPECTIVE D'UNE RESSOURCE STRATEGIQUE EXPLOITATION RAISONNEE DU LITHIUM DANS L'ALLIER

**Contexte :** *Le lithium, largement utilisé pour la fabrication de batteries pour l'industrie automobile, est devenu en quelques années une matière première indispensable et stratégique pour relever le défi de décarbonation du secteur du transport. Sa production augmente considérablement, mais la pression sur le marché reste forte avec le risque qu'à l'horizon 2030, l'offre ne puisse pas répondre à la demande mondiale. Afin de garantir un approvisionnement sûr et durable, la Commission Européenne a fixé comme objectif une extraction des matières premières stratégiques dans l'Union Européenne permettant de produire au moins 10 % de la consommation annuelle. La société IMERYS a confirmé la présence d'un gisement important de lithium sous le site des Kaolins de Beauvoir dans l'Allier. Ce projet permettra de couvrir plus d'un quart des besoins des futures "gigafactories" françaises. Cependant, le développement d'une nouvelle exploitation minière devient difficile dans le contexte actuel marqué par des fortes oppositions. Pour réussir cette tâche, outre la mise en œuvre de techniques avancées et sûres, il est absolument nécessaire de prendre en compte les enjeux environnementaux et sociétaux en mettant en place des pratiques très respectueuses.*

**Problématique et enjeux**

- Permettre l'accès à une ressource minérale stratégique pour la transition énergétique dans un contexte très sensible (enjeu environnemental et social).
- Etudier la stabilité mécanique et la rentabilité de l'exploitation dans le contexte géologique et géotechnique du gisement et dans les conditions du marché du lithium (enjeu technique et économique).

## OBJECTIFS

- Mettre en évidence la place du lithium dans la décarbonation du transport.
- Etudier tous les aspects techniques de l'exploitation minière.
- Analyser aussi les volets réglementaire, environnemental, social et économique du projet.

**Encadrement**

- faouzi.hadj_hassen@minesparis.psl.eu
  Tél. 01 64 69 48 25
- isabelle.thenevin@minesparis.psl.eu
  Tél. 01 64 69 48 96

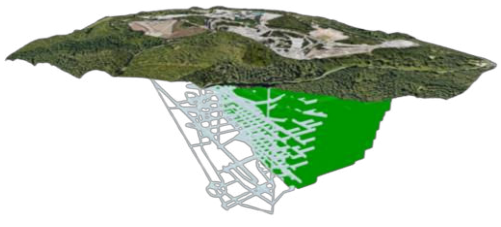
**Centre de recherche :** Géosciences
**Lieux :** IDF (Paris, Fontainebleau, Vaujours) et Echassières (Allier)

## SIX MINI-PROJETS

1. **Caractérisation de l'exploitation minière**
   Caractériser le gisement et son environnement géologique, hydrologique et géographique. Définir la méthode d'exploitation à mettre en œuvre ainsi que les infrastructures nécessaires.
2. **Etude géotechnique**
   Dimensionner les ouvrages souterrains et leur soutènement pour garantir la stabilité à long terme de l'exploitation.
3. **Abattage minier et aérage des travaux**
   Choisir la méthode d'abattage la plus adaptée et définir le schéma d'aérage des travaux souterrains ainsi que les équipements miniers.
4. **Etude hydrogéologique**
   Caractériser le contexte hydrogéologique régional et local. Evaluer l'impact du projet sur les ressources et la qualité de l'eau ainsi que les risques liés à l'exploitation.
5. **Cadre législatif, environnemental et social**
   Prendre en compte les aspects environnementaux et sociétaux dans le projet dans un contexte très sensible au déploiement d'une nouvelle exploitation minière.
6. **Evaluation économique**
   Développer un modèle économique pour évaluer la rentabilité des différentes variantes techniques du projet et mener des études de sensibilité.

## DEROULEMENT

**1ère semaine** : acquisition des connaissances nécessaires via des conférences, des visites d'installations et des échanges avec les acteurs industriels et institutionnels.
**2ème semaine** : conduite des mini-projets 1 à 3 et synthèse des résultats obtenus.
**3ème semaine** : conduite des mini-projets 4 à 6 et préparation du rapport final.



# MIX ENERGETIQUE FRANÇAIS EN 2050 : OBJECTIFS .vs. TENDANCES

**Contexte :** *Lors de la conférence COP21 ayant abouti aux accords de Paris visant à limiter le réchauffement de la planète à 1.5°C, un objectif de réduction des émissions de $CO_2$ a été acté afin d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. La France s'est engagée à respecter cet accord en faisant évoluer son mix énergétique. Celui-ci est composé aujourd'hui à 60% d'énergies fossiles, 25% d'électricité et le reste en biomasse et en chaleur commercialisée. Ce mix énergétique correspond aujourd'hui à une émission d'environ 4 tonnes par habitant.*

**Problématique et enjeux**

Comment lutter contre le réchauffement climatique tout en garantissant une production énergétique capable de satisfaire une consommation d'énergie croissante ? Quelles sont les actions prises par les entreprises françaises pour faciliter le respect des accords internationaux relatifs à la transition énergétique et la réduction des émissions de $CO_2$ ? Est-ce que le mix énergétique français évolue en accord avec les scénarios de transition énergétique ? Quels secteurs se prêtent plus à la transition énergétique ? Dans quels secteurs la transition requière les efforts majeurs dans les prochaines années ?

## OBJECTIFS

- Sensibiliser aux conséquences du réchauffement climatique.
- Comprendre comment les scénarios d'évolution du mix énergétique sont établis.
- Interagir avec les acteurs industriels pour évaluer leur vision en termes de transition énergétique.
- Dresser le mix énergétique français actuel et à l'horizon 2050 selon le scénario choisi.
- Evaluer le mix énergétique français à 2050 en apportant un esprit critique sur les questions 1) économique, 2) capacité "d'industrialisation" des solutions techniques, 3) sociétale, identifiées grâce aux visites et aux conférences.

**Encadrement projet :**

- thibault.plays@minesparis.psl.eu
- salem.hoceini@minesparis.psl.eu
- marco.campestrini@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :**
Centre Energie Environnement Procédés (CEEP)

**Lieux :** IDF (Paris)

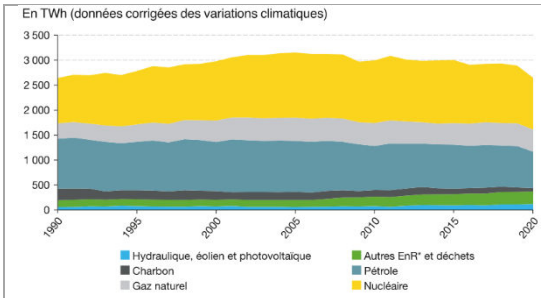
## MINI-PROJETS / ETUDES

Les études seront menées en considérant 3 grands « groupes d'énergie » (électrique, fossile, carburants alternatifs). Les aspects socio-économiques et industriels seront traités dans le cadre de 3 mini-projets portant sur l'évaluation de l'évolution du mix énergétique et le bilan par rapport aux objectifs (trajectoires) dans les 3 secteurs suivants :

- Industrie
- Résidentiel
- Mobilité

## DEROULEMENT (préliminaire)

- **1ère semaine :** Conférences, visites du CEEP et d'entreprises, échanges avec les partenaires industriels et académiques.
- **2ème semaine :** Conduite des mini-projets, formation « recherche bibliographique ».
- **3ème semaine :** Conduite des mini-projets, synthèse des résultats des travaux réalisés, rédaction note de synthèse et plan du rapport technique.




*Consommation d'énergie primaire par énergie*
*Ministère de la Transition Ecologique*

# DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS UN TERMINAL PORTUAIRE

***Contexte :*** *La réduction des émissions de gaz à effet de serre demande l'adaptation de nombreuses infrastructures existantes. Parmi celles-ci, les terminaux portuaires, véritables hubs logistiques à l'interface entre les transports maritime et terrestre. Alimentation électrique des navires à quai, émergence de nouveaux carburants maritimes (ammoniac, méthanol, …), électrification du fret routier et ferroviaire, autant de défis qui feront fortement augmenter la demande d'énergie, notamment électrique, au sein des ports. A ces défis s'ajoute une sensibilité accrue des riverains face aux nuisances et impacts générés par les activités portuaires. D'un autre côté, les ports disposent d'atouts considérables pour le développement d'une production d'énergie renouvelable : foncier disponible à proximité de centres urbains, disponibilité de certaines infrastructures, proximité de la mer et des gisements d'énergies marines. La Chambre de Commerce et Industrie (CCI) du Var s'interroge aujourd'hui sur le potentiel de développement des énergies renouvelables dans les ports de la Rade de Toulon dont elle assure l'exploitation.*

**Problématique et enjeux**
Quel potentiel pour le développement des énergies renouvelables dans les Ports de la Rade de Toulon et au large ? Quels impacts sociaux, économiques et environnementaux sur le territoire ? Quels projets favoriser ? Quelle possibilité pour le port de constituer une centrale électrique virtuelle afin d'optimiser l'utilisation des différentes sources d'énergie ?

## OBJECTIFS

- Etudier le potentiel de développement des énergies renouvelables dans les Ports de Toulon et au large.
- Dimensionner des installations et analyser la viabilité économique des projets.
- Evaluer les impacts sociaux, environnementaux et économiques des projets sur le territoire.
- En parallèle, évaluer la possibilité pour le port de constituer une centrale électrique virtuelle.

**Encadrement projet :**
- pedro.affonso_nobrega@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** PERSEE

**Lieu :** Sophia-Antipolis

## MINI-PROJETS / ETUDES

- Solaire photovoltaïque terrestre/flottant
- Petit éolien
- Houlomotrices
- Thalassothermie
- Centrale virtuelle

## DEROULEMENT

- **1ère semaine :** Visite CCI du Var et port de Toulon. État de l'art et analyse du potentiel des différentes alternatives.
- **2ème semaine :** Étude détaillée des alternatives plus prometteuses (dimensionnement, analyse financière, analyses d'impacts).
- **3ème semaine :** Synthèse et livrables (présentation, rapport final).

# SIMULATION PAR « RAY-TRACING » D'IMAGES SOUS-MARINES

***Contexte :*** *l'Océan couvre deux-tiers de la planète à une profondeur moyenne d'environ quatre mille mètres. La France joue un rôle singulier dans cet espace géopolitique : elle est responsable d'une aire maritime aussi vaste que l'Europe. Cependant, ce gigantesque continuum, ses ressources et sa biodiversité demeurent largement méconnus, et les équilibres océaniques, vieux de cent millions d'années et régulateurs du climat, sont aujourd'hui menacés. Afin d'explorer, de surveiller et de protéger de telles étendues, il est nécessaire de disposer d'outils efficaces de collecte de données. A cet égard, les drones sous-marins offrent une piste prometteuse.*

**Problématique et enjeux.**

La conception de robots sous-marins se heurte à de sérieux défis d'ingénierie. L'absorption des signaux, la salinité et la pression mettent les matériels à rude épreuve. Il en résulte des coûts d'exploitation élevés, qui restreignent les tests de nouveaux équipements en conditions réelles. Afin de pallier cette limitation à l'innovation, l'IFREMER, en collaboration avec MINES Paris, lance un projet de simulateur destiné à tester la fiabilité des systèmes de pilotage de drones, dans un environnement sous-marin virtuel réaliste et en temps quasi-réel. Le MIG OCEAN consiste à développer une première version de ce simulateur, intégrant une caméra et une source de lumière embarquées.

## OBJECTIFS

- Simuler l'interaction de la lumière avec des surfaces et des nuages de particules sous-marines.
- Modéliser une caméra à partir de spécifications d'une caméra réelle,
- Optimiser le code (simulation « temps réel »).
- Proposer une démonstration à partir d'un scénario de déplacement du robot.
- Livrer un programme informatique documenté et correctement organisé (pas de rapport).

**Encadrement projet**

- sebastien.travadel@minesparis.psl.eu
- luca.istrate@minesparis.psl.eu
- franck.guarnieri@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** CRC – MINES Paris pour l'Océan

**Lieu :** Sophia-Antipolis

## MINI-PROJETS / ETUDES

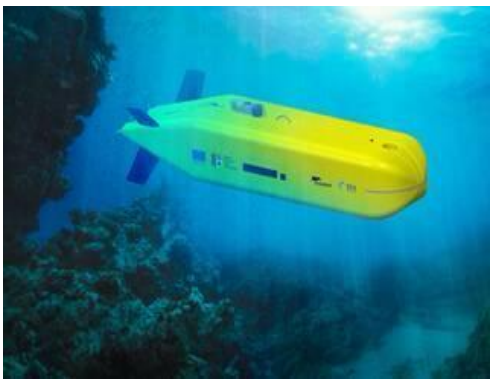
Les élèves organiseront leurs tâches pour développer ensemble le simulateur selon une démarche d'ingénierie professionnelle. Les aspects suivants seront abordés :

- Création d'une scène sous-marine,
- Modélisation des éléments d'une caméra (lentilles, capteurs…) et d'une source de lumière,
- Simulation par « ray-tracing » de l'absorption et de la diffusion de lumière sous l'eau,
- Intégration pour générer les images de la scène captées par la caméra en mouvement,
- optimisation pour un rendu en temps quasi-réel sur un scénario de démonstration.

## DEROULEMENT

- **1ère semaine :** présentation des enjeux, visite de grands acteurs de la robotique sous-marine (IFREMER, Naval Group, Exail). Introduction à la simulation par « ray-tracing ». Mise à niveau sur des méthodes de programmation et des concepts du langage C++ (pas de prérequis).
- **2ème semaine :** développement du simulateur.
- **3ème semaine :** finalisation d'une première version et présentation à l'IFREMER.

Etant donné les concepts à acquérir, des lectures et exercices seront proposés en complément des cours la première semaine.



Robot Ulyˣ de l'IFREMER

# Le rôle de l'énergie solaire dans la décarbonation de la mobilité dans la communauté d'agglomération de Sophia Antipolis (CASA)

***Contexte :*** *composée de 24 communes s'étendant des pré-Alpes d'Azur au littoral de la méditerranée, la CASA comprend plus de 180 000 habitants et 26 700 entreprises. Au sein de cette dernière se trouve la technopole de Sophia Antipolis sur plus de 2 400 hectares avec 40 000 emplois et 5 500 étudiants. Cette forte concentration d'emplois sur un territoire comptant un nombre assez limité de logements se traduit par des migrations pendulaires importantes. Les migrations internes à la technopole représentent également un enjeu à traiter pour éviter l'utilisation de modes de transports carbonés pour de faibles distances.*

**Problématique et enjeux**

Le projet CASA 2040, piloté par la CASA et le syndicat mixte Sophia Antipolis, vise à concevoir l'aménagement et l'urbanisation du territoire à l'horizon 2040 pour répondre aux enjeux environnementaux et climatiques, notamment liés à cette question de la mobilité. Compte tenu du climat méditerranéen du territoire parmi les plus ensoleillés de France, le MIG SOLAIRE propose de contribuer aux réflexions de la CASA et la ville de Valbonne pour la décarbonation de la mobilité, par une approche multidisciplinaire incluant l'ingénierie énergétique solaire photovoltaïque, les sciences des donnés, l'analyse de cycle de vie des impacts environnementaux ou encore l'urbanisme.

## OBJECTIFS

- Etat des lieux de la mobilité au sein de la CASA (ex. flux, difficultés, bilan carbone) et évolution probable BAU *(business as usual).*
- Impacts positifs et négatifs du développement des VE et des bornes de recharge solarisées.
- Etude de solutions de véhicules intermédiaires : projet ADEME Extrême Défi, vélo électrique solaire *Moving Power Lab* Vhéliotech à *open source* auto-construire).
- Optimisation multicritère pour les parcours des véhicules à pédales électrique solaire dans la CASA.

**Encadrement projet**

- philippe.blanc@minesparis.psl.eu
- elena.magliaro@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** O.I.E.

**Lieu :** Campus Pierre Laffitte, Sophia Antipolis

## MINI-PROJETS / ETUDES

Le MIG SOLAIRE n'est pas organisé en mini-projets : aidés par une introduction à la méthodologie LEAN, les élèves trouveront par eux-mêmes une organisation dynamique et efficace du travail en ateliers pour mener à bien ce projet, avec le support et l'expertise des encadrants et intervenants (notamment de M. Plassat porteur projet ADEME Extrême Défi). Le MIG SOLAIRE travaillera en partenariat avec la direction Aménagement et Energie de la CASA et la commune de Valbonne. Le point de départ des études sera le recueil des besoins auprès de ces parties prenantes, en lien avec le programme CASA 2040. Les ateliers seront organisés pour contribuer à la réflexion sur la décarbonation de la mobilité au sein de la CASA avec des propositions étayées et chiffrées d'actions et d'expérimentations suivant le prisme de la ressource solaire et une approche multidisciplinaire.

## DEROULEMENT

- **J1-2 :** descente TGV (et bus) Paris-Sophia Antipolis avec des visites liées à des infrastructures énergétiques (départ possible le dimanche 17 novembre en fin d'après-midi)
- **J3 :** formation au LEAN, conférences introductives
- **J4 :** rencontres et discussions avec les parties prenantes,
- **J5-12** : visites locales, ateliers
- **J12-14 :** finalisation des ateliers, synthèse, rédaction
- **J15 :** restitution orale aux parties de prenantes

# INGENIERIE ET DISPOSITIFS INNOVANTS POUR LA SANTE

***Contexte :*** *L'innovation et la technologie sont au cœur de la transformation du secteur de la santé, apportant des solutions aux défis complexes tels que le vieillissement de la population et les maladies chroniques. Grâce aux avancées en biotechnologie, intelligence artificielle, robotique et dispositifs médicaux connectés, les ingénieurs redéfinissent les méthodes de diagnostic, de traitement et de gestion des soins. Ce projet explore comment ces innovations technologiques révolutionnent et personnalisent la santé, améliorant l'efficacité des soins, la précision médicale et l'expérience des patients.*

**Problématique et enjeux**

- Utilisation des nouvelles technologies (imagerie, IA, prototypage rapide) pour développer des outils et réponses innovantes.
- Passer d'une médecine « prêt à porter » vers du « sur-mesure », sans augmentation des coûts ou des délais.
- Mettre à disposition des soignants des outils simples à utiliser, tout en permettant une grande liberté d'adaptation aux différents cas rencontrés.

## OBJECTIFS

- Découverte des métiers de la santé, notamment ceux liés à l'ingénierie et à la technologie.
- Présentation des différentes innovations dans le secteur de la santé
- Prise en main d'outils d'imagerie avancés (IA) pour l'amélioration des diagnostics et des traitements
- Utilisation des outils de FabLab pour la réalisation rapide de prototypes sur mesure

**Encadrement projet**

- matthieu.maziere@minesparis.psl.eu
- naimeric.villafruella@minesparis.psl.eu
- frederic.kletz@minesparis.psl.eu
- petr.dokladal@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :**
CDM/DIRENS/CGS/CMM

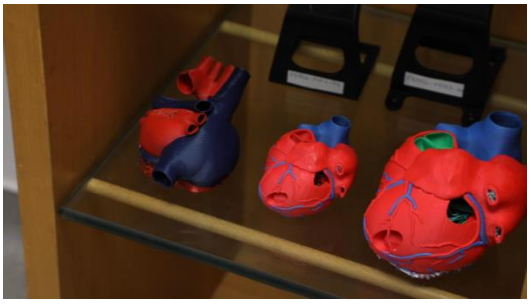
**Lieu :** Paris

## MINI-PROJETS / ETUDES

- Prototypage rapide pour solutions médicales personnalisées (Prim3D – APHP)
- Analyse d'image médicale à l'aide d'algorithmes avancés (CMM)
- Design et fabrication de prothèses d'orthèses sur-mesure (FabLab Mines)
- Développement de solutions numériques pour améliorer le traitement au bloc opératoire (APHP)
- Bio-impression 3D (FabLab Mines)

## DEROULEMENT

- **1ère semaine** : Visites et conférences
- **2ème semaine** : Mini-projets
- **3ème semaine** : Mini-projets et rédaction



# VERS LE VERRE VERT

***Contexte :*** *connu pour sa résistance, sa transparence et sa faible altération chimique, le verre s'impose comme matériau incontournable de notre vie quotidienne. Recyclable à l'infini, il nécessite d'importante quantité d'énergie pour être élaboré. De plus, l'utilisation de carbonates comme matières premières engendre une libération conséquente de $CO_2$. Il est donc impératif de trouver de nouvelles alternatives qui feront les verres du futur.*

**Problématique et enjeux**

Les émissions de $CO_2$ sont liées pour 80 % à la combustion et pour 20 % aux matières premières. Ce projet en commun avec la société ***Pochet du Courval*** est d'ouvrir des pistes **vers le verre vert** ! Pour cela, on cherchera à réduire les émissions de $CO_2$ en explorant de nouvelles compositions mais aussi en repensant le procédé d'élaboration. Une autre piste sera également envisagée où la mise en forme des verres sera faite en couplant des techniques de fabrication additive et de frittage thermique qui nécessitent des quantités d'énergie moindres.

## OBJECTIFS

- Recherche de nouvelles compositions bas émissives en $CO_2$
- Dimensionnement de fours d'élaboration par simulation numérique
- Mise en forme de verre par impression 3D

**Encadrement projet**

- franck.pigeonneau@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** CEMEF

**Lieux :** Paris & Sophia Antipolis

## MINI-PROJETS / ETUDES

- **Compositions de nouveaux verres à basse émission de $CO_2$ :**
  - Recherche de compositions par apprentissage profond et algorithme génétique
  - Mesures expérimentales
- **Optimisation énergétique des fours :**
  - Simulations numériques
  - Optimisation du mixte Combustion/électrique
- **Fabrication additive de verre par stéréolithographie** :
  - Impressions 3D
  - Optimisation de frittage thermique
  - Mesures expérimentales
- **Fabrication additive de verre par fusion de filament** :
  - Impressions 3D
  - Optimisation de frittage thermique
  - Mesures expérimentales

## DEROULEMENT

- **1ère semaine :** Séminaires, visites et lancement des mini-projets
- **2ème semaine :** Mini-projets
- **3ème semaine :** Mini-projets et rédaction rapport

# OPTIMISATION DES MATERIAUX POUR L'AERONAUTIQUE : ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX POUR L'AERONEF DE DEMAIN

***Contexte :*** *l'industrie aéronautique civile est en constante croissance depuis les années 1960, avec une augmentation continue du nombre de voyageurs, notamment vers les pays en développement. Cette expansion entraîne une compétition féroce pour réduire les coûts et l'empreinte environnementale, stimulant le développement d'aéronefs plus efficaces et économes en carburant, ainsi que de nouvelles offres de maintenance. De plus, la sécurité reste une priorité majeure. Le réchauffement climatique oblige également à repenser la conception aéronautique, tant sur le plan technique que sur celui des futurs modes de transport (autonomie, variabilité de la taille des aéronefs). Ces défis exigent une optimisation à différentes échelles, allant de la cellule de l'aéronef à des revêtements micrométrique, tout en tenant compte des enjeux environnementaux.*

**Problématique et enjeux**

- Permettre la continuation des transports aériens pour pérenniser une activité industrielle stratégique et garantir une rentabilité (enjeu technique, économique).
- Garantir la diminution et à terme la neutralité carbone (enjeu environnementale et technique).

## OBJECTIFS

• Etudier différents points d'optimisations passés et présents des moteurs d'avion ainsi que les modèles de durée de vie associés.

• Intégrer les projets dans une analyse d'optimisation des moteurs et des nouvelles technologies pour diminuer l'impact des transports en avion

**Encadrement projet**
pierre.arnaud@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** Centre des Matériaux

**Lieux :** Paris, Vernon, Villaroche, Chatillon, Bourget, Evry, Gennevilliers

## MINI-PROJETS / ETUDES

• **Performance énergétique des avions** : projet avec SAE Villaroche ou SafranTech Chateaufort

• **Endommagement des Barrière thermiques :** les Barrières thermiques permettent de protéger les aubes des hautes températures de combustion mais change complètements la problématique d'endommagement.

• **Enjeux et ruptures** dans les transports et l'aviation : perspective historique et sociologique.

• **Fretting fatigue des aubes :** le fonctionnement de l'avion entraine des vibrations qui se répercutent sur l'assemblage et entrainent des endommagements.

• **Microstructure et fluage** : analyse des propriétés des disques vis-à-vis de leur durée de vie et de la température.

## DEROULEMENT

- **1ère semaine** : acquisition de connaissances au travers de visites et de conférences des acteurs de l'aéronautique (Safran, Ariane…)
- **2ème semaine** : présentation du laboratoire et conduite des mini-projets
- **3ème semaine** : finalisation des mini-projets et réaction du rapport final

# L'INGENIERIE DANS LES SECTEURS DE LA MODE ET DU LUXE

***Contexte :*** *la filière Mode & Luxe est d'une importance capitale pour l'économie française. La France est en effet le premier acteur mondial du secteur. La filière est composée de grands groupes (LVMH, Kering, Hermès…), de marques de créateurs comme de prêt à porter, d'artisans et d'entreprises de fabrication, dont une grande majorité sont des PME, voire des TPE. Chacune de ces entreprises détient des savoir-faire artisanaux ou semi-industriels qui s'inscrivent pour beaucoup dans une histoire et un territoire, résultant d'un long apprentissage. Quels sont les rôles des ingénieurs dans ce secteur, si particulier ?*

**Problématique et enjeux**

Le secteur Mode & Luxe est caractérisé par des spécificités qui lui sont propres et qu'il faut apprendre à décrypter. Pour ce faire, un regard fortement transdisciplinaire est nécessaire. La filière est confrontée à de nouvelles problématiques : transformation des comportements des consommateurs, importance de l'expérience client, émergence de façons inédites de produire et de vendre. Tout cela nécessite l'adaptation des compétences et des métiers, le déploiement de nouvelles technologies, une attention particulière à porter aux ressources et à l'environnement, ainsi qu'à l'humain et au sens. Pour réussir ces défis, le secteur es en quête permanente d'innovation, pour alimenter les créateurs, satisfaire les nouveaux clients, s'adapter à un monde qui change. Pour réaliser ces objectifs les entreprises du secteur font souvent appel aux ingénieurs.

## OBJECTIFS

- Fournir aux élèves des clés de lecture de l'univers de la mode et du luxe.
- Illustrer la place des ingénieurs aujourd'hui dans ces secteurs.
- Toucher aux enjeux du secteur dans le cadre des mini-projets.

**Encadrement projet**
francesco.delloro@minesparis.psl.eu

**Centre de recherche :** Centre des Matériaux

**Lieu :** Région Parisienne

## MINI-PROJETS / ETUDES

- **Adore Me** maitriser les impacts environnementaux dans le secteur de la mode.
- **Louis-Vuitton** cas d'étude
- **Musée de Minéralogie Mines Paris** mode, luxe et minéraux
- **Chanel** cas d'étude

## DEROULEMENT

- **1ère semaine :** séminaires, visites et ateliers interactifs pour sensibiliser aux enjeux de cette industrie et pour donner quelques clés de lecture du secteur Mode & Luxe. Des moments d'échange avec des étudiants du mastère PSL ENAMOMA et du mastère Marketing du Luxe de Dauphine sont prévus.
- **2ème semaine** : mini-projets
- **3ème semaine :** mini-projets et consolidation

MINES PARIS
PSL