

# Analyse et simulation en Mécanique des Matériaux

## Essais mécaniques augmentés



Evolutive  
Learning  
Factories

### Dialogue expérience/modélisation

Machine d'essai 250 kN  
en cours d'acquisition

### Objectif pédagogique

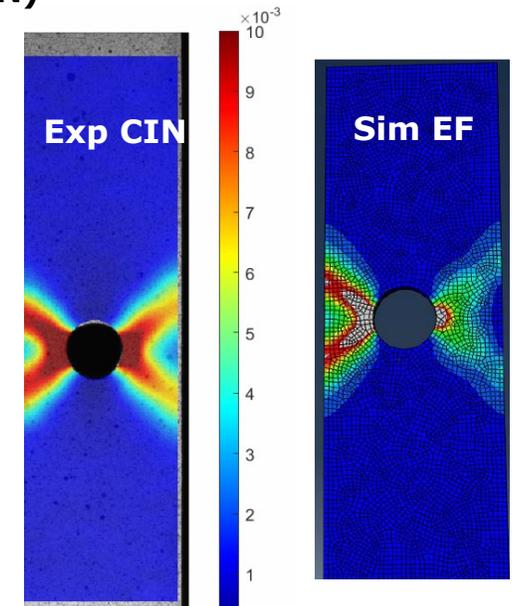
- Former des ingénieurs avec les outils de la mécanique: MMC, RDM, Méthodes EF
- Curiosité scientifique



- **Instrumenter** (jauges, caméras)
- **Visualiser** (Corrélation d'Images Numériques)
- **Identifier les comportements** (simulation numérique)



### Corrélation d'Images Numériques (CIN)



Champs de déformation axiale

**Transfert et assistance à l'industrie:**  
Thalès, Stellantis, IRT M2P, Safran, Airbus, SNCF

**Formation** PGE GIM1, GIM2

**Formation** PIS spécialité mécanique

Diplôme national de Master AM<sup>2</sup>S / Projet Recherche

Financement OPCO2i Déploiement 2025 (150 k€)

Financement sur projets recherche/industriel (50 k€)

**Besoin: financement pour la digitalisation des TP (25 k€)**



**Régis KUBLER**

Enseignant-chercheur  
regis.kubler@ensam.eu

**Jean-Patrick GOULMY**

Enseignant-chercheur  
jean-patrick.goulmy@ensam.eu

**Dorian DEPRIESTER**

Enseignant-chercheur  
dorian.depriester@ensam.eu



**Pr. Lionel ROUCOULES**  
Enseignant-chercheur  
lionel.roucoules@ensam.eu

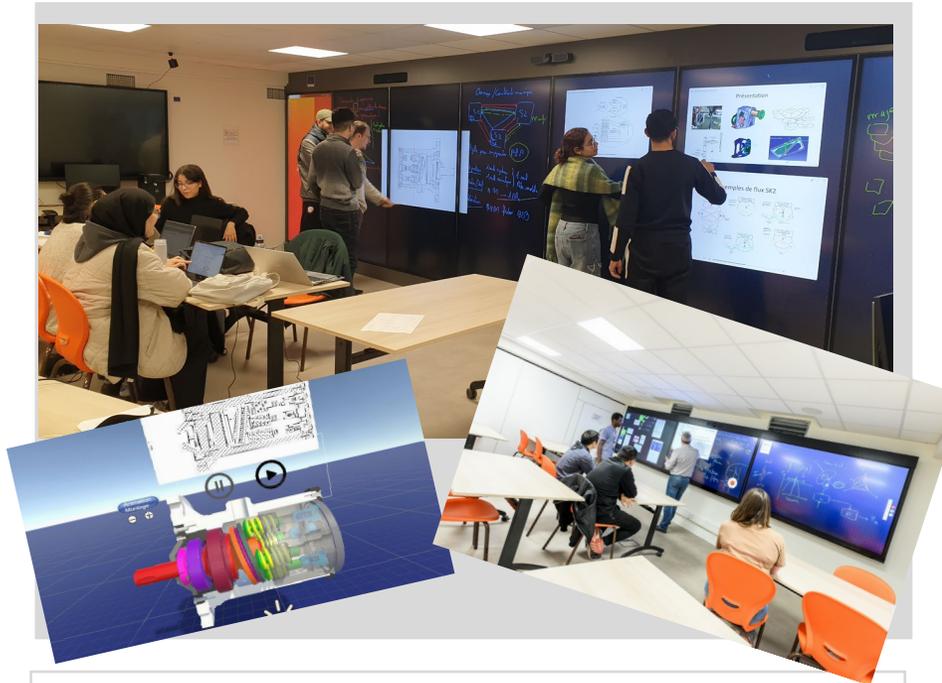
# Environnement numérique collaboratif pour la pédagogie et la recherche

**Environnements interactifs pour codévelopper les futurs usages et technologies : pédagogie, Ingénierie Système, prise de décisions ?**

## Objectifs pédagogiques

Expérimenter l'intérêt de nouvelles technologies (écrans interactifs, Réalité Virtuelle, Jumeau Numérique...) comme support :

- des activités pédagogiques (cours magistral, conférences, travaux de groupe, TP...)
- Des activités industrielles relatives à la prise de décision (Supervision des systèmes, Ingénierie Système collaborative)



**Nombre d'étudiants concernés** : 2A PGE (150), 3A PGE UNNUI (24), Master CPSE (12)

**Financements déjà obtenus** : 590k€ (CPER, FSE) / 100k€ (equipex + Continuum)

**Besoin en financement** : 12K€/an (maintenance)

**Délai de déploiement** : évolution continue au fil des projets



Evolutive  
**Learning  
Factories**

**Partenaires industriels fournisseurs de technologie** :  
Immersion,  
SkyReal, ERM.

**Partenaires utilisateurs** :  
TechnicAtome,  
EDF, Naval  
Group, CEA



lispén



Arts  
et Métiers  
Sciences et  
Technologies



**Jean VINCENTI**  
Enseignant  
jean.vincenti@ensam.eu



**Ricardo KNOBLAUCH**  
Enseignant-chercheur  
ricardo.knoblauch@ensam.eu

# Usinage 4.0

Se former à l'usinage : de la théorie aux savoir-faire



## Objectifs

- Rénover nos équipements et nos pratiques pédagogiques
- Développer le travail en autonomie des étudiants
- Permettre l'accès à un parc machine moderne et sécurisé pour les utilisateurs
- Ouvrir l'atelier pour la réalisation des projets des étudiants



Module  
d'enseignement  
immersif en ligne  
(2021-2023)



Préparation et validation d'une fabrication de pièce sur  
jumeau numérique avant mise en œuvre sur machine  
réelle (2024 -2027)



## Publics concernés

Tous les étudiants PGE 1A (travaux pratiques en atelier)  
2/3 des étudiants PGE 2A (travaux pratiques en atelier)  
Diplôme National de Master, AM<sup>2</sup>S, PGE 3A : 10 étudiants/an  
Projets en groupes  
Activités AMJE  
Formations EICNAM : 10 étudiants/an

**Financement nécessaire : 700 k€ HT**



# Lean 5.0

## Quel modèle industriel pour l'industrie du futur ?



**Karim BEJAOUI**  
Enseignant  
karim.bejaoui@ensam.eu

Une plateforme co-construite avec les industriels

Animée par un mécénat de compétence et des enseignants

Bonne pratique en place

Formation Learning by doing

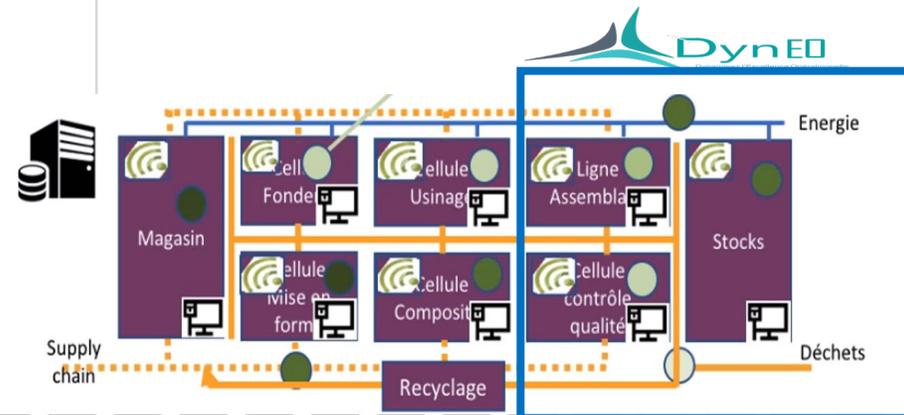
### Learning lab

Evolution et projet de recherche centré sur Lean 5.0

Humain

Développement durable

Quelles sont les compétences de l'industrie du futur 5.0



**Evolutive Learning Factories**



STMICROELECTRONICS

**PELLENC**

Depuis 2013, 1500  
élèves PGE  
250 3A PIS  
240 MS Lean

Plus de 1800  
industriels formés



**Arts et Métiers** Sciences et Technologies

## Programme ELF (Projet JENII)



## Ahmed KTARI

Enseignant-chercheur  
ahmed.ktari@ensam.eu



# Fonderie rapide basse pression

La Fonderie 4.0 au service de l'enseignement (une formation sur mesure, interactive et sécurisée).



Evolutive  
Learning  
Factories

Mise à jour

### Jumeau physique



### Jumeau numérique



Pilotage

Support de l'Institut  
A&M de Laval

Scanner 3D (58 k€)  
Reconstruction CAO pièce  
(Reverse Engineering) +  
contrôle dimensionnel

(GOM - ATOS Q)



### Recherche

(Métamodèle, Instrumentation IoT,  
Pilotage en temps réel)

### Objectifs scientifiques et pédagogiques

- Nbre d'étudiants concernés : PGE ≈ 150/  
promo)  
Délai de déploiement : ≈ 2030 (Fin 11/2025  
pour JENII)
- Rétrofit équipements: acquisition et communication de données;
  - Optimisation énergétique;
  - Instrumentation connectée et traitement automatisé;
  - Renforcement de la chaîne numérique: reconstruction CAO et contrôle qualité (scan 3D);
  - Continuum de la séquence pédagogique via RV interactive axée sur la fonderie rapide BP.

### Nouvelle séquence pédagogique

TP Fonderie - 2A  
PGE)





**Pr. Jean-Philippe  
PERNOT**

Enseignant-chercheur  
jean-philippe.pernot@ensam.eu



**Innovative  
Manufacturing  
& Control**



**COHERENCE4D**



# Usinage « intelligent »

Quand la machine apprend à mesurer et à corriger ses erreurs en temps réel pour une production plus précise et performante !



- Former les étudiants aux technologies de fabrication avancée, de numérisation 3D, de jumeau numérique et d'intelligence artificielle...
- Mieux préparer les étudiants aux défis d'aujourd'hui et de demain !

Besoin en financement de ressources humaines et de matériels (casque de RA pour une interaction améliorée, ...)

Etudiants 1A, 2A et 3A via des TP ou projets à différents niveaux d'expertise





**Florian Huet**  
Enseignant-chercheur  
florian.huet@ensam.eu

**Pierre Garambois**  
Enseignant-chercheur  
pierre.garambois@ensam.eu



**Julien Gomand**  
Enseignant-chercheur  
julien.gomand@ensam.eu



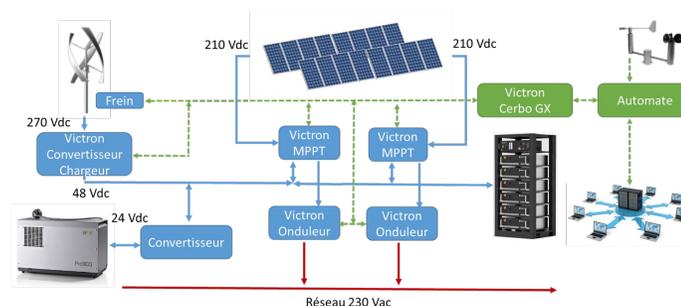
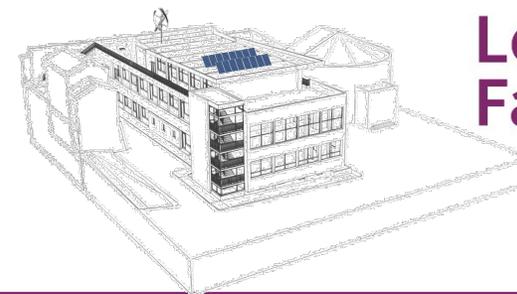
**Camille Favarel**  
Professeur agrégé  
camille.favarel@ensam.eu

# Plateforme de Recherche et d'Intégration de Solutions Modulaires pour l'Énergie [PRISME]



## Création d'un démonstrateur académique et industriel

- **Écosystèmes locaux** : Intégration de producteurs, stockeurs et consommateurs d'énergie électrique.
- Objectif : **Démontrer le concept de mix énergétique à faible empreinte carbone.**

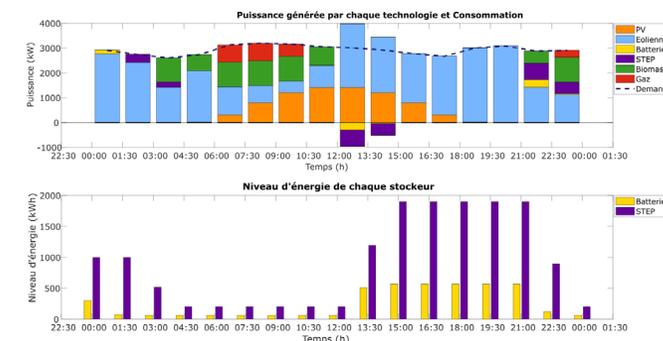


## Bâtiment des énergies décarbonées à Aix-en-Provence

- Agrégation de systèmes énergétiques : **Panneaux solaires, éoliennes, pile à combustible.**
- Stockage : **Systèmes inertiels, potentiels, hydrogène, batteries hybrides** (lithium super condensateur).
- Module de **supervision** et de commande pour la gestion en temps réel des flux d'énergie.

## Besoins et enjeux

- Soutien de principes démontrés **numériquement.**
- **Complémentarité des sources d'énergie** pour répondre à la demande croissante de consommation.
- Réduction de l'utilisation de ressources primaires et **accroissement de l'autonomie énergétique.**



## Formation :

- PGE, PIS GE, Master, Mastère Spécialisé EXPPER

## Besoins :

- Financement **d'équipements complémentaires**
- Intégration **d'éléments industriels innovants** dans un environnement réel



# Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)

Fabrication additive par dépôt de fil (Wire Arc Additive Manufacturing), une plateforme de l'industrie 4.0 pour l'étude des phénomènes multiphysiques couplés et l'optimisation process



## Pr. BARRALLIER

Enseignant-chercheur  
laurent.barrallier@ensam.eu

### Objectifs généraux

- Réalisation d'assemblages multimatériaux
- Réparation de pièces mécaniques usées (rechargement)
- Réalisation de structures métalliques optimisées (structure lattice, multicouche,...)
- Fabrication directe de pièces à géométrie complexe,...

### Objectifs pédagogiques

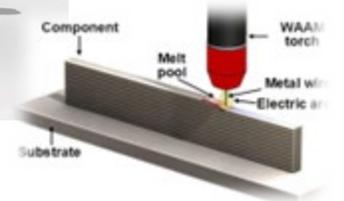
Disposer d'un moyen d'obtention de brut 4.0 permettant :

- de comprendre la transformation de la matière (états liquide/solide, transformation de phases,..)
- de comprendre la génération des états mécaniques et des déformations induites
- de proposer un procédé multiphysique complexe (thermique, mécanique du solide et des fluides, électromagnétisme, métallurgie,...)
- de mettre en œuvre des moyens de contrôle adaptés de la santé matière
- de mettre en place des stratégies d'optimisation des procédés



**Partenaires industriels :** EDF, ORTEC, Airbus, SAFRAN, ...

**Partenaires académiques :** Université WEST (Suède), Univ. Bourgogne,...



### Formation :

Étudiants concernés PGE & PIS (1A, 2A), MR, doctorat

### Besoins en financement :

500k€ TTC acquis (CPER, ELF)

### Délai de déploiement :

2026



# MEB CAD

## Microscopie électronique contrôlée à distance



### Pr. BARRALLIER

Enseignant-chercheur  
laurent.barrallier@ensam.eu

#### Objectifs

- Mettre en ligne le microscope électronique (MEB) afin d'en prendre le contrôle à distance.
- Permettre des illustrations dynamiques de microstructures lors des cours ou des Journées Portes Ouvertes (démonstration).
- Effectuer des observations (images électroniques SE, BSE) et des analyses (EDS, EBSD) à distance pour des projets académiques (PJT) et de recherche.
- Réduire les déplacements des utilisateurs et permettre la surveillance d'acquisition de longue durée (télétravail).



#### Étudiants concernés

PGE et PIS, 1A, 2A, MR

#### Besoin en

**financement** 30k€ TTC  
acquis (ELF, AMValor)

#### Délai de déploiement

2025

#### Partenaires industriels :

L'ensemble des  
partenaires industriels  
des projets de recherche.



**Dr. Nicolas  
CONIGLIO**

Enseignant-chercheur  
nicolas.coniglio@ensam.eu

## Plateforme Assemblage Avancé

Atelier de fabrication moderne au service de l'industrie



### Objectifs pédagogiques

- **Chainage numérique** des procédés de fabrication
- **Coordination** des activités pédagogiques et de recherche
- Couplage du **savoir-faire industriel** avec la **digitalisation** de la chaîne de fabrication

### Objectifs recherche

- **Modernisation** de la chaîne de fabrication
- **Optimisation** des procédures de préparation pour WAAM et soudage
- **Innovation** des stratégies de coupe
- **Compréhension** des interactions matériaux et procédés



**Nombre d'étudiants concernés** 1A PGE (150),  
2A PGE (150), 1A PIS (75)  
**Besoin en financement** 50 k€ acquis CFAI/OPCO  
**Délai de déploiement** : Juin 2025



**Pr. BARRALLIER**  
Enseignant-chercheur  
laurent.barrallier@ensam.eu

## Plateforme DRX

### Plateforme de caractérisation des matériaux par diffraction des rayons X (DRX), métrologie des états mécaniques

#### Objectifs généraux

- Caractérisation des matériaux polycristallins par DRX (diffusion élastique) :
  - Détermination des phases cristallines
  - Mesure des anisotropies cristallines
  - Détermination des états mécaniques résiduels (métrologie mécanique)
- Etude des matériaux amorphes par fonction de corrélation des paires :
  - Structure des amorphes, étude de plus proche voisin

#### Objectifs pédagogiques

- Disposer d'un équipement versatile permettant de mettre en place des TP permettant de montrer l'utilisation des rayons X pour la caractérisation microstructurale et mécanique des matériaux
- Mettre en avant la notion de métrologie mécanique en relation avec les moyens de corrélation d'image numérique et mécanique expérimentale



#### Étudiants concernés

PGE, 1 & 2A FIP, MR, doctorat

**Besoin en financement** 580k€  
acquis (CPER) pour le Rigaku SmartLab

**Délai de déploiement** Fin 2024



Evolutive  
**Learning  
Factories**

#### Equipements de la plateforme :

- 1 goniomètre 5 axes Rigaku SmartLab avec anode tournante 9kW
- 2 goniomètres 4 axes Seifert MZIV
- 1 goniomètre 3 axes Siemens D500
- 1 goniomètre portatif Set-X

#### Partenaires industriels :

EDF, ORTEC, Airbus, SAFRAN, Stellantis, IRT-M2P, CEA

#### Partenaires académiques :

ENSTA Bretagne, UTT, univ. Marseille, Chimie Paristech



**Charlotte TERNOY-PASSIER**

Responsable Learning Center-  
Atrium

[charlotte.passier@ensam.eu](mailto:charlotte.passier@ensam.eu)



**Emilie VERONE**

Documentaliste

[emilie.verone@ensam.eu](mailto:emilie.verone@ensam.eu)

# Learning Center-Atrium

L'Atrium : lieu de synergie à la croisée de l'industrie, de la pédagogie et de la recherche, pour la réussite de tous !

Une plateforme originale par son positionnement de carrefour des savoirs, lieu de vie, de convivialité et de collaborations interdisciplinaires : un espace pour explorer, collaborer et progresser.

- Interface entre publics étudiants, enseignants, personnels et industriels.
- Vitrine technologique et d'innovation : médiations documentaires, scientifiques, technologiques et culturelles.
- Accompagnement à la recherche et à la réussite de nos étudiants.
- Stimule la créativité et l'innovation : espace de travail collaboratif et écrans tactiles.
- Valorisation des articles scientifiques et les ressources pédagogiques d'Arts et Métiers.



## Nos usagers :

- Nombre d'étudiants concernés : 845
  - 400 élèves ingénieurs Programme Grande Ecole
  - 400 élèves ingénieurs Programme Ingénieur de Spécialité
  - 45 apprenants Programme national de Master recherche et Programme de Mastère Spécialisé®
- Enseignants-chercheurs et doctorants
- Personnels administratifs et techniques
- Etudiants d'écoles partenaires : ESTP, lycée Vauvenargues, ...



Partenaires  
industriels  
MédiastiAM

- CEA
- EDF
- ORANO
- ONET