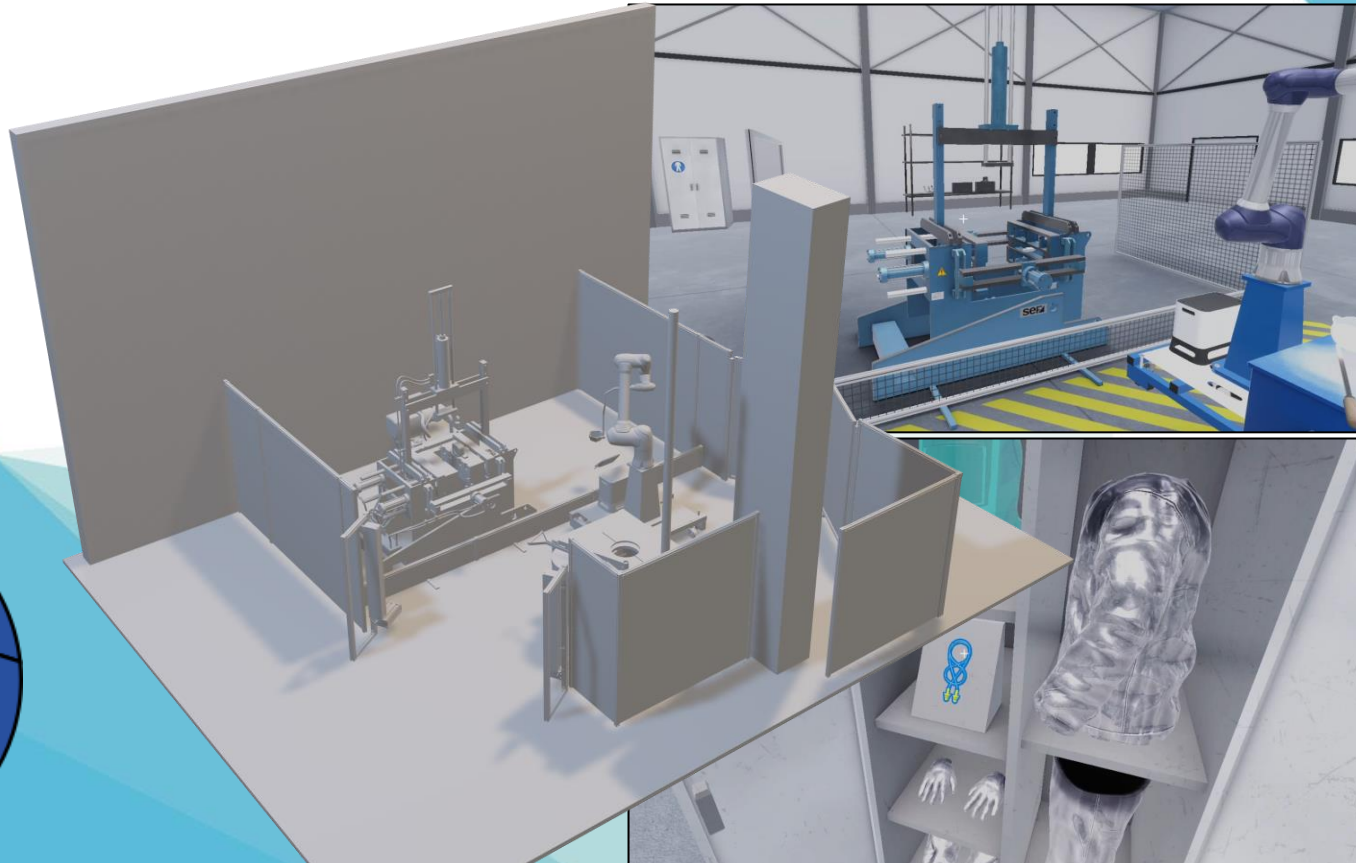


# Jumeaux Numérique de Fonderie

Cellule Coquille Gravité Automatisée



# Arts et Métiers & Génie mécanique



## Arts et Métiers

**11**

**SITES**

répartis sur toute la France dédiés à l'enseignement, à la recherche et au transfert de technologie



**6000**

**ÉTUDIANTS**

toutes formations confondues



**14**

**LABORATOIRES**

et équipes de recherche



## Arts et Métiers

Ecole d'ingénieur en lien étroit avec le tissu industriel, Arts et Métiers a pour ambition de devenir un grand établissement de technologie et attracteur de la filière technologique.

**Ingénieur**



Arts et Métiers forme des leaders des **industries** responsables, acteurs de terrain qui créent et mettent en œuvre les innovations **technologiques** et organisationnelles impactantes, indispensables aux transitions énergétique, sociétale et environnementale



## Génie Mécanique

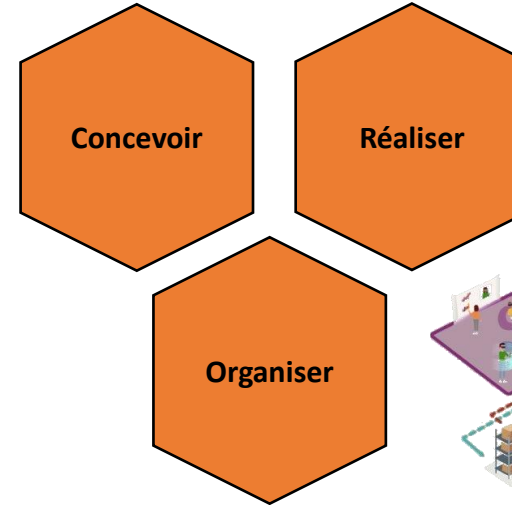
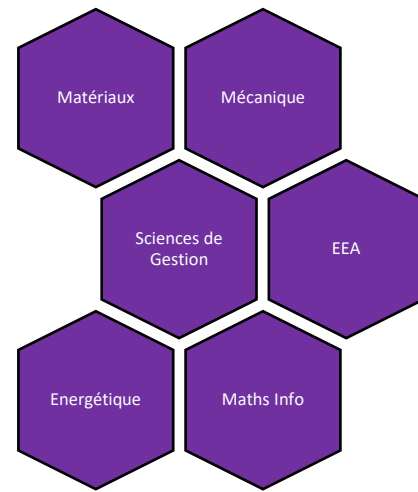
### Contexte

L'industrie reste le socle de l'économie française.  
Elle représente\* :

**12,3%** du PIB français

**260 000** entreprises dont 90% TPE et PME

**3,11** millions d'emplois directs



**Ingénieur**  Arts et Métiers Sciences et Technologies

Arts et Métiers forme des leaders des **industries** responsables, acteurs de terrain qui créent et mettent en œuvre les innovations **technologiques** et organisationnelles impactantes, indispensables aux transitions énergétique, sociétale et environnementale

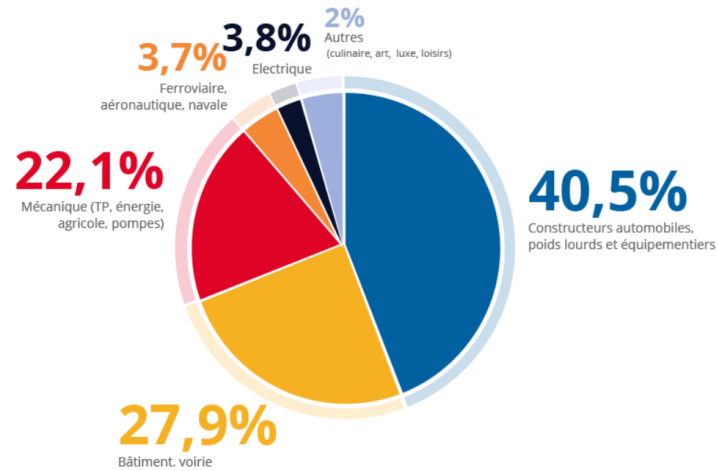
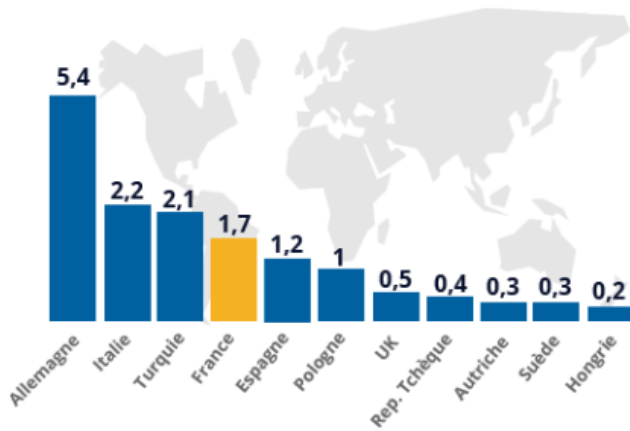
# Arts et Métiers & Génie mécanique



## Pourquoi la fonderie ?

(en volume)

Rang européen (Turquie incluse) de la Fonderie  
(Production 2018, en millions de tonnes)



ELABORATION DE FONTE GS



5,9

Mds €  
de chiffre d'affaires

28 288

salariés

1,58

million de tonnes  
de produits

330

établissements  
de production

# Arts et Métiers & Génie mécanique



## Campus d'Angers – Equipe Fonderie



Julien  
Artozoul



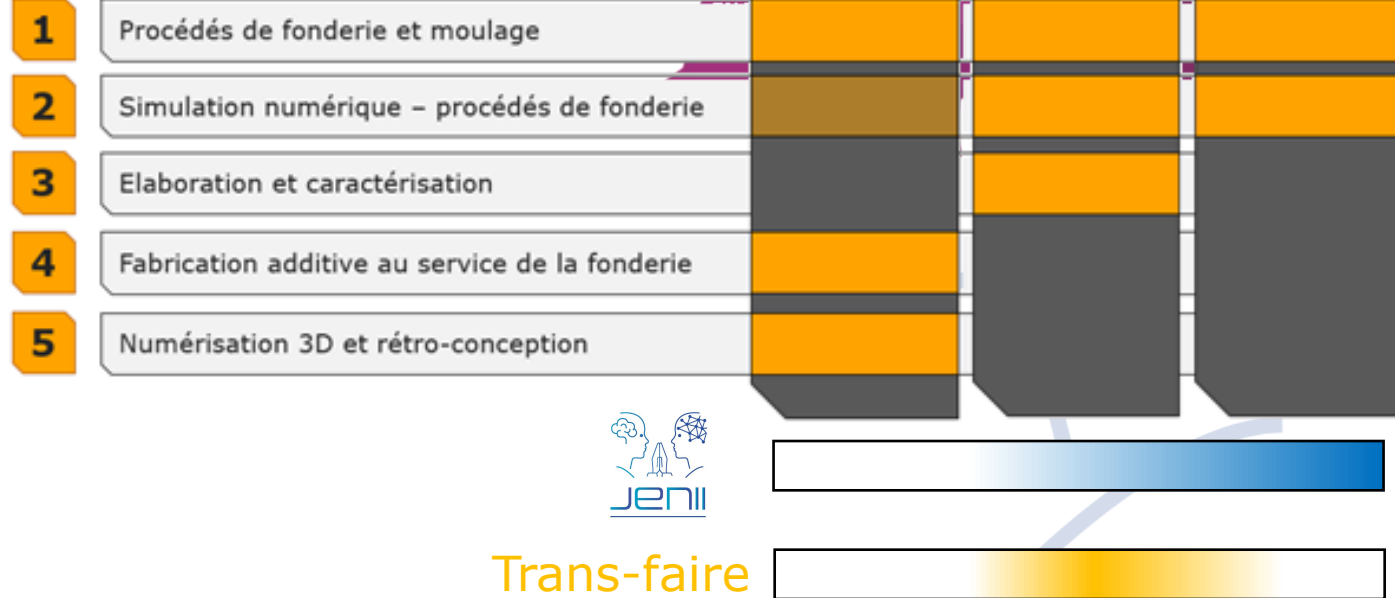
Mariem  
Ben Saada



Aude  
Caillaud



Guillaume  
Fruchaud



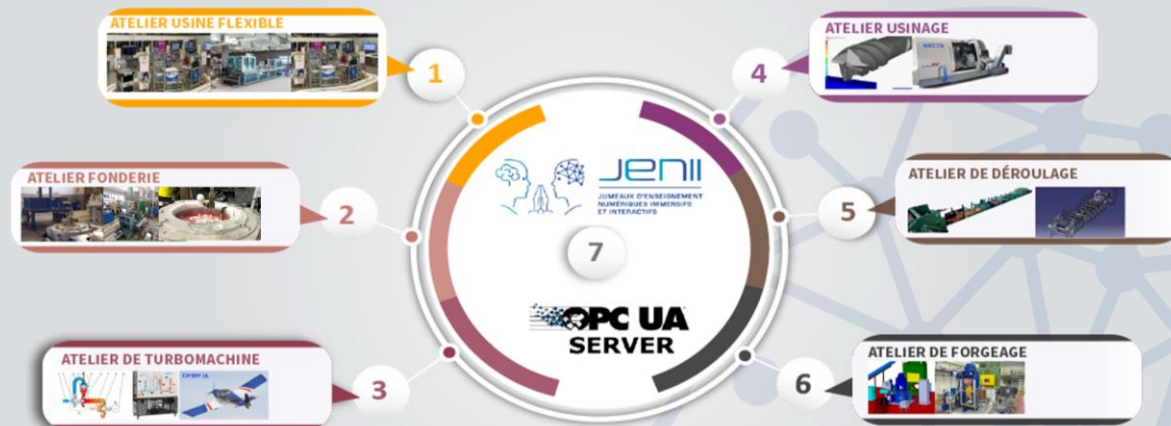
## Projet JENII

### Les caractéristiques :

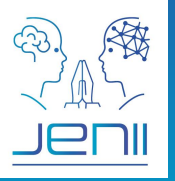
- **Projet DemoES – France 2030**
- **Porté par Arts et Métiers et en partenariat avec CEA, CESI et Cnam**
- **Durée 3 ans : Nov. 2021- Nov. 2024**
- **14 M € dont 5.6 M € de subvention pour Arts et Métiers**

### Les finalités :

- **Former via les jumeaux numériques : de nouveaux moyens d'apprentissage**
- **Former aux jumeaux numériques : les nouveaux outils de l'industrie**
  - Jumeaux numériques technologiques (de systèmes industriels réels) immersifs et interactifs
  - Questionnement sur l'usage, l'accessibilité et l'inclusion



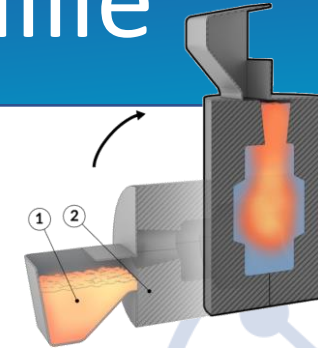
# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



## Projet JENII



Jumeau numérique d'une cellule  
**automatique de fonderie**  
en coquille coulée gravité

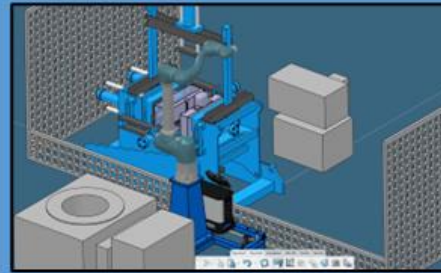


Réel



Applicatif  
Unity

1- Représentation

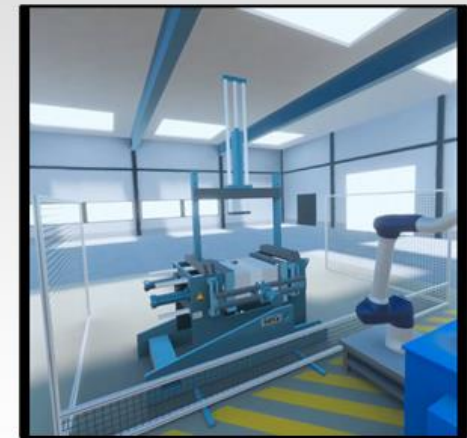


3- Intéraction



Streaming

Virtuel

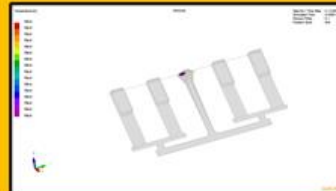


4- Connectivité

OPC UA



2- Physicalisation



# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



Cellule Physique

FONDERIE - AUTOMATIC GRAVITY DIE CASTING



JENII

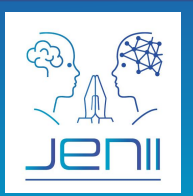


Arts Sciences et  
Technologies  
et Métiers



*Ce projet a été financé en tout ou partie, par le programme d'investissement d'avenir au titre du projet JENII – ANR-21-DMES-0006*

# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



## Cellule Physique

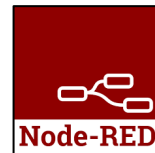


Machine **Coquilleuse semi-automatique** (1995)  
Retrofit partie commande (2023)

- Automate 4.0 (Unitronics Unistream)  
Connectivité OPC UA



Interface HMI personnalisable  
Client OPC UA  
Node-Red

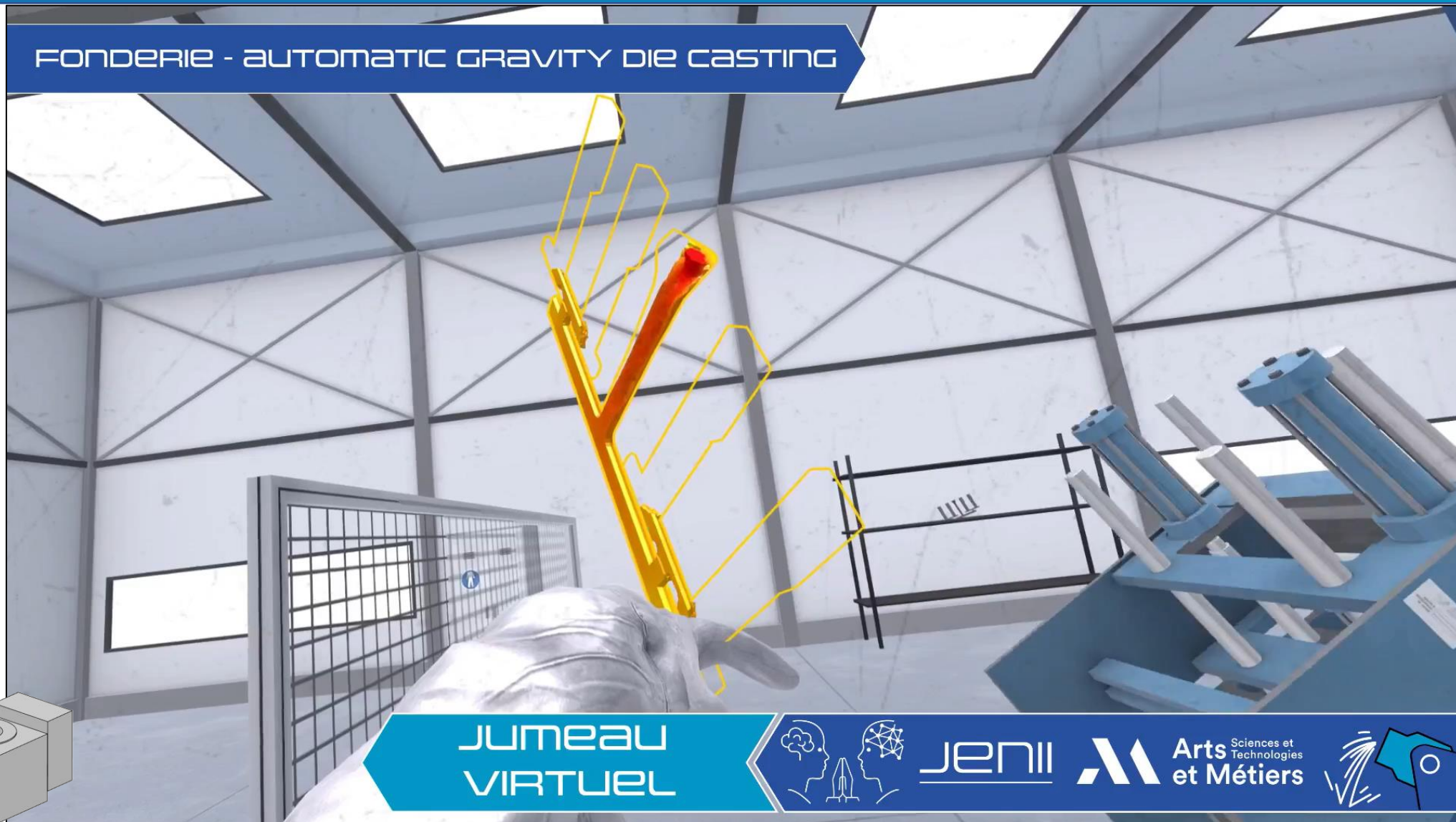
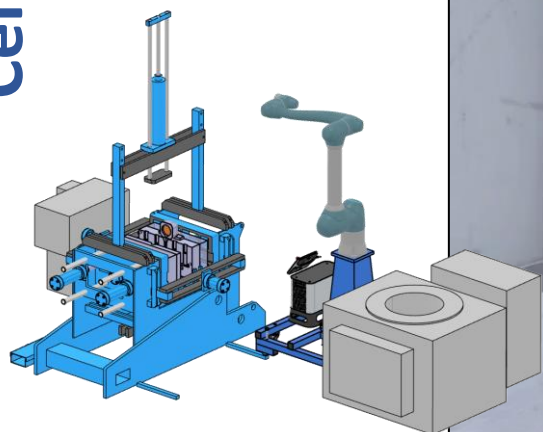


# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



Cellule Virtuelle

FONDERIE - AUTOMATIC GRAVITY DIE CASTING



JUMEAU  
VIRTUEL



JENII



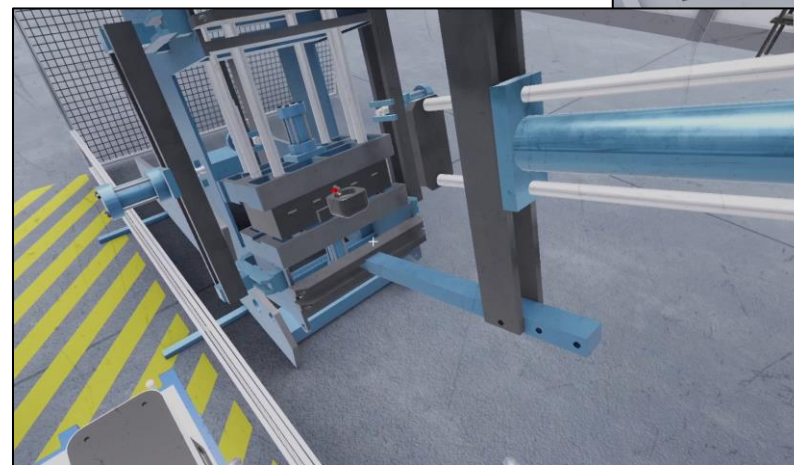
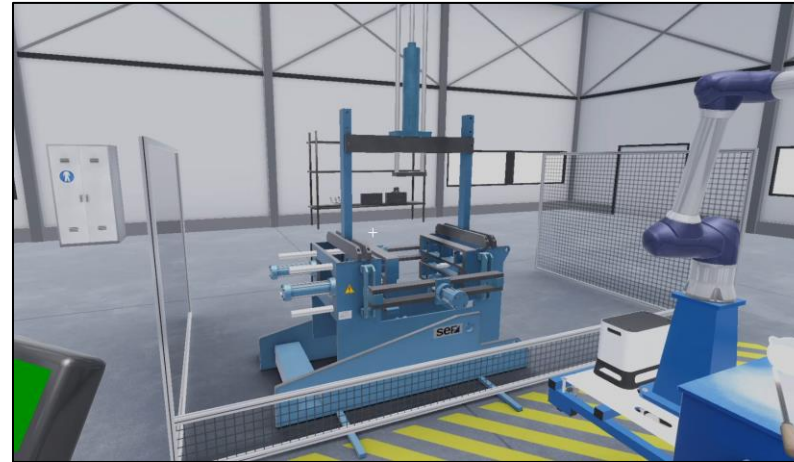
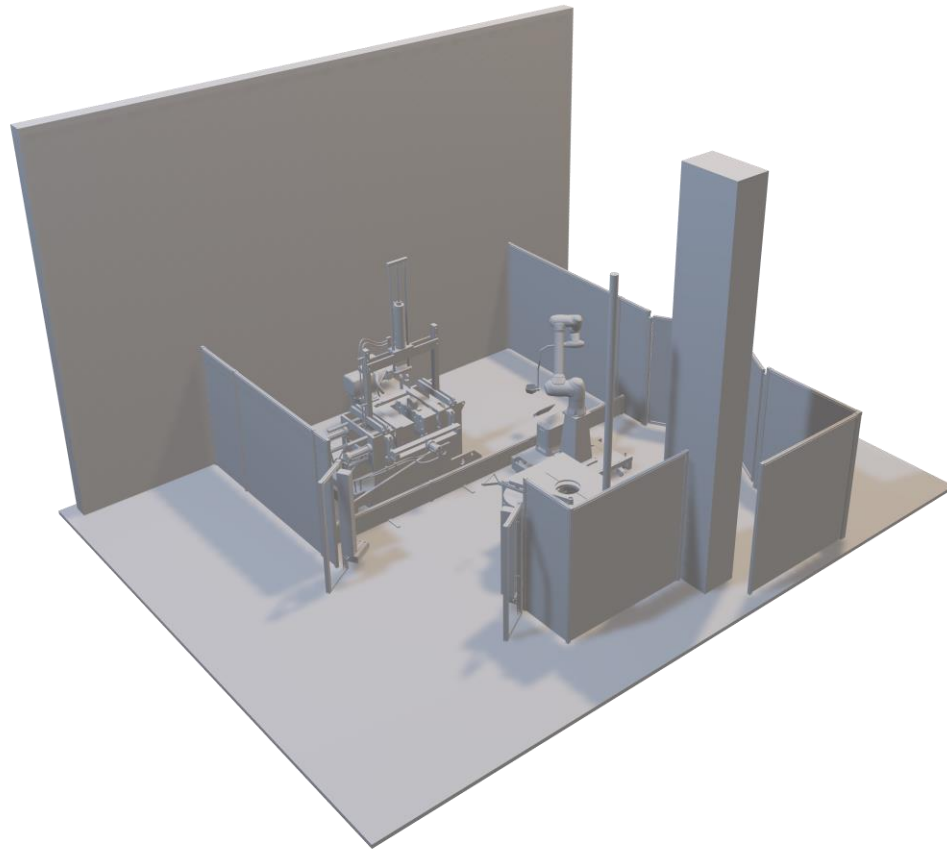
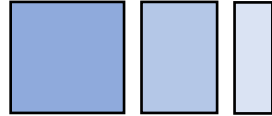
Arts Sciences et  
Technologies  
et Métiers



# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



Représentation 3D



*Ce projet a été financé en tout ou partie, par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au titre du projet JENII*

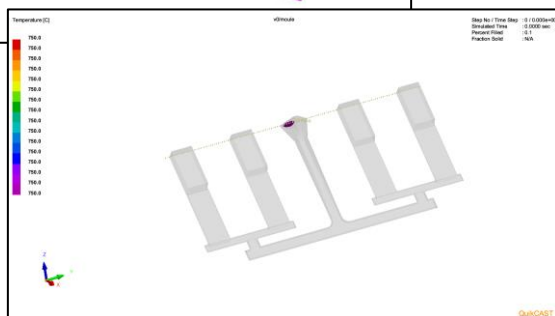
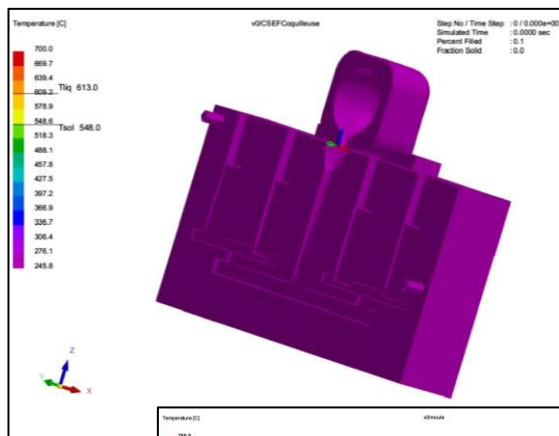
# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



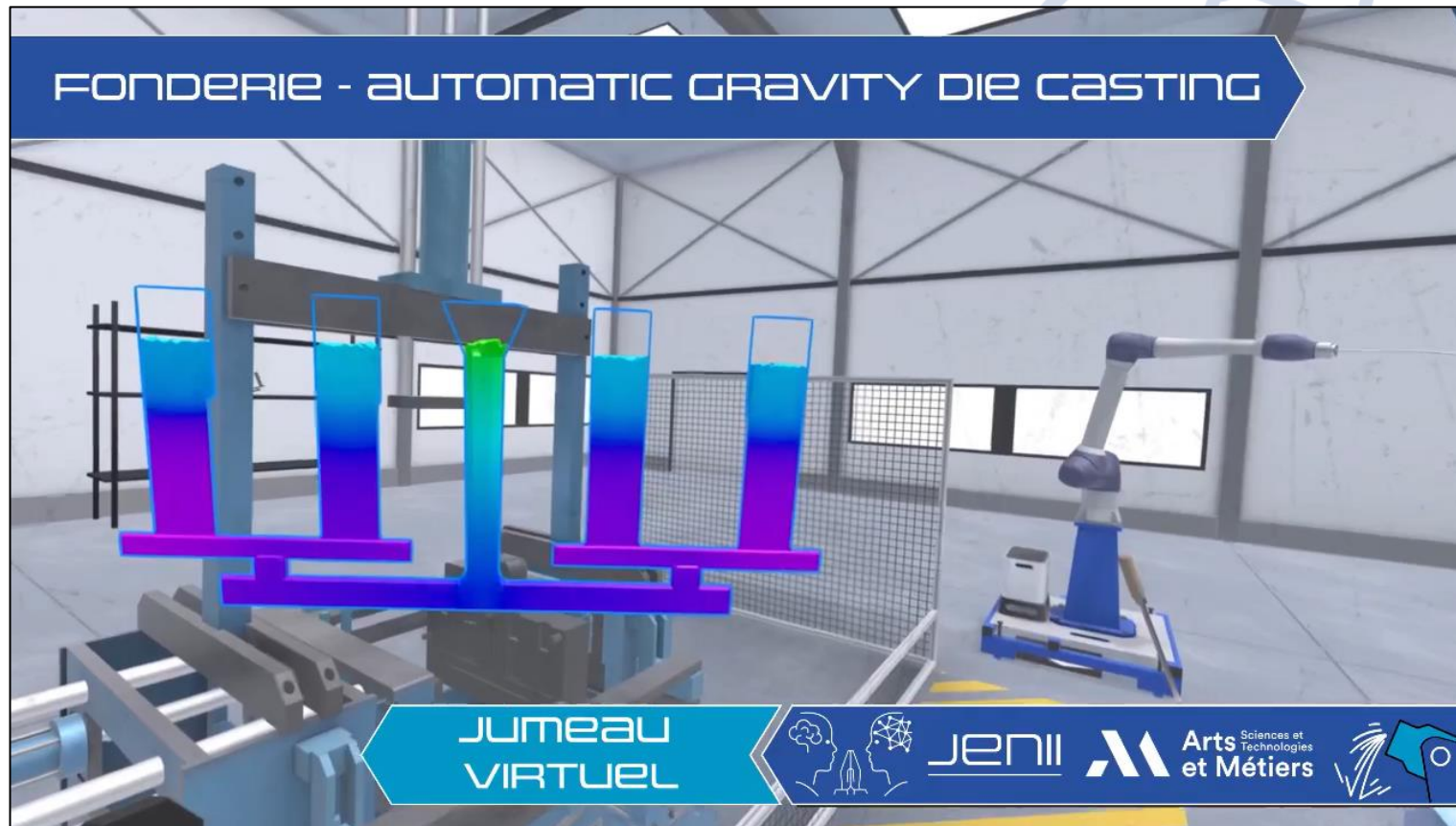
Physicalisation



Conversion  
.erfh5

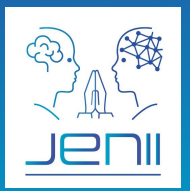


Des outils métiers



JN pour voir ce que l'on ne voit pas dans le monde physique

# Cellule Fonderie – UAP Coulée Coquille



Jumeau Numérique as Viewer



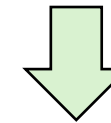
Données Virtuelles stockées



Données Expérimentales LIVE



Données Expérimentales exportées



Applicatif Unity

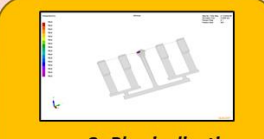
1- Représentation



3- Intéraction



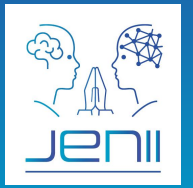
2- Physicalisation



Virtuel



# Scénarios Pédagogiques



2 Scénarios

Niveau  
taxonomique

Public

1

Connaissance,  
Compréhension,  
(Application)

Externe  
Interne

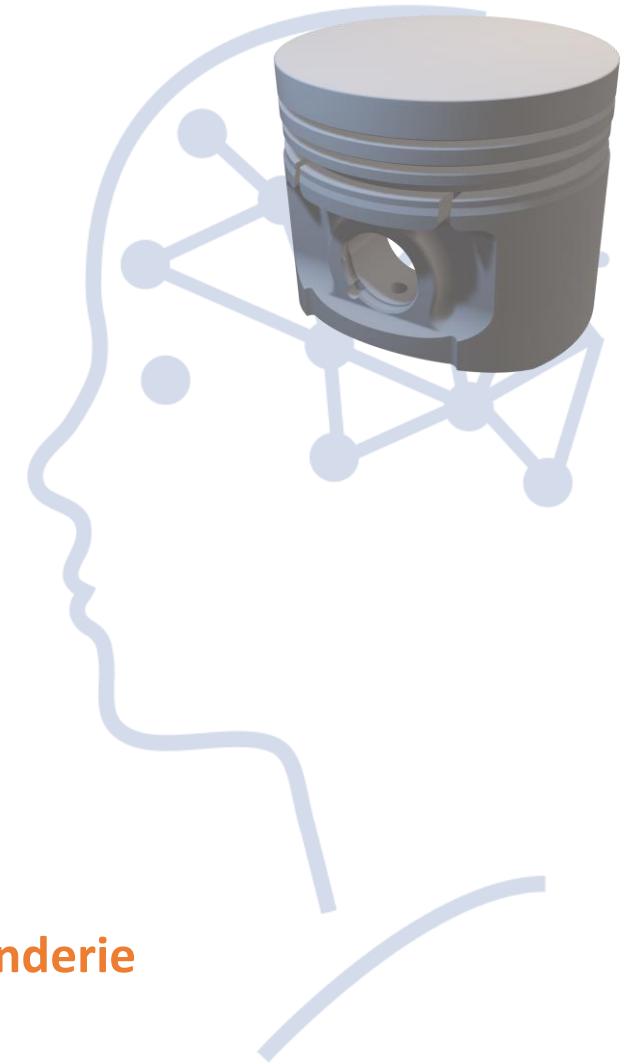
**Découverte d'une cellule autonome de production automatisée de fonderie**

2

Application,  
Analyse,  
Synthèse

Externe  
Interne

**Simulation numérique, analyse de données et pilotage UAP automatisée de fonderie**



## 1

### Découverte d'une cellule autonome de production automatisée de fonderie

#### A1. Objectifs

1. Comprendre le fonctionnement d'une Unité Autonome de Production (UAP) de pièces de fonderie moulées en coulée coquille gravité



2. Comprendre le fonctionnement d'une chaîne d'énergie



3. Connaître les paramètres opératoires qui pilotent ce type d'UAP



4. Observer les mécanismes physiques ayant lieu lors du remplissage de l'empreinte et de la solidification de la grappe



5. Lancer une production de pièces après avoir réglé les paramètres du processus



L'apprenant doit être capable de :

#### A2. Compétences acquises par l'apprenant

- Comprendre un cycle de production (gamme de fabrication)
- Identifier des différents organes : actionneurs, effecteurs, capteurs, etc.
- Identifier des éléments mécaniques permettant de répondre à une fonction du cahier des charges de l'UAP

- Identifier le fonctionnement de la partie commande de la chaîne hydraulique de la coquilleuse à bascule

- Analyser, en temps réel, l'évolution des variables de sortie (malvenue, retassures externes) en fonction des variables d'entrée du processus ( $T^\circ$  moule,  $T^\circ$  alliage, vitesse de basculement de la coquille)

- Identifier les problématiques de malvenues et de retassures
- Analyser l'influence du cyclage thermique sur ces défauts

- Réalisation du programme de l'UAP
- Respect des consignes de travail associées à l'UAP en termes de sécurité

# Scenarios Pédagogiques



1

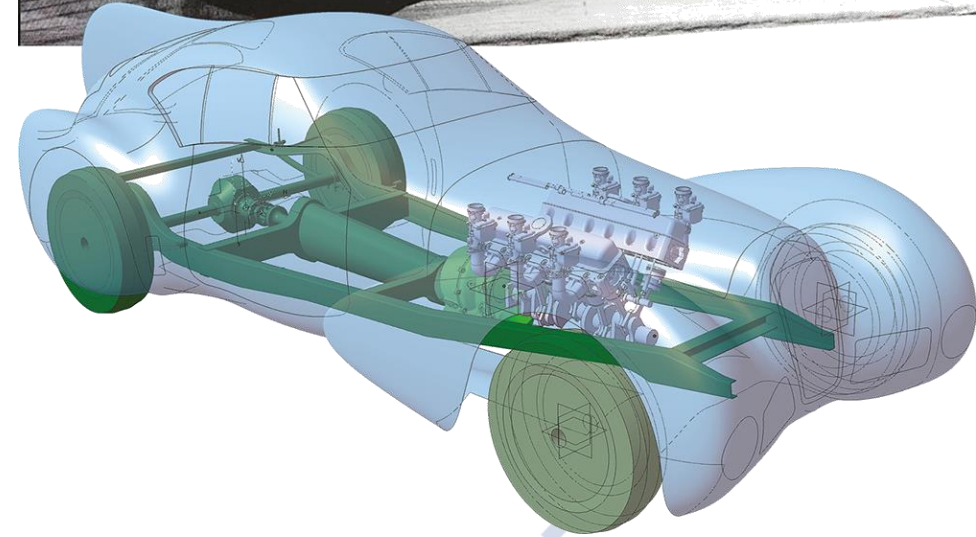
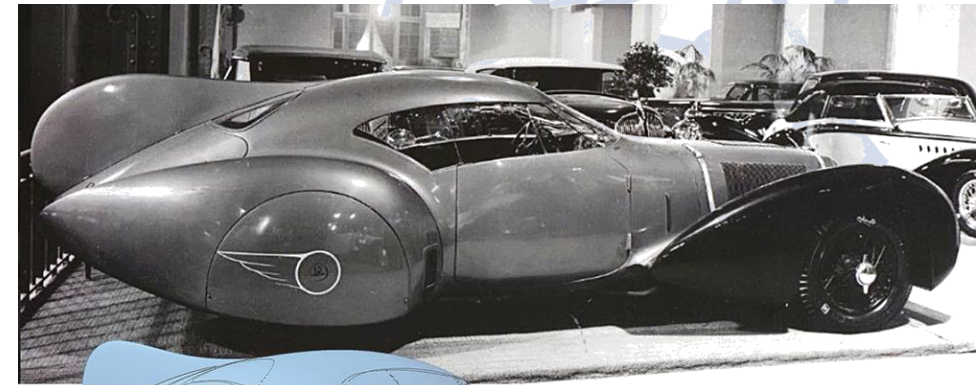
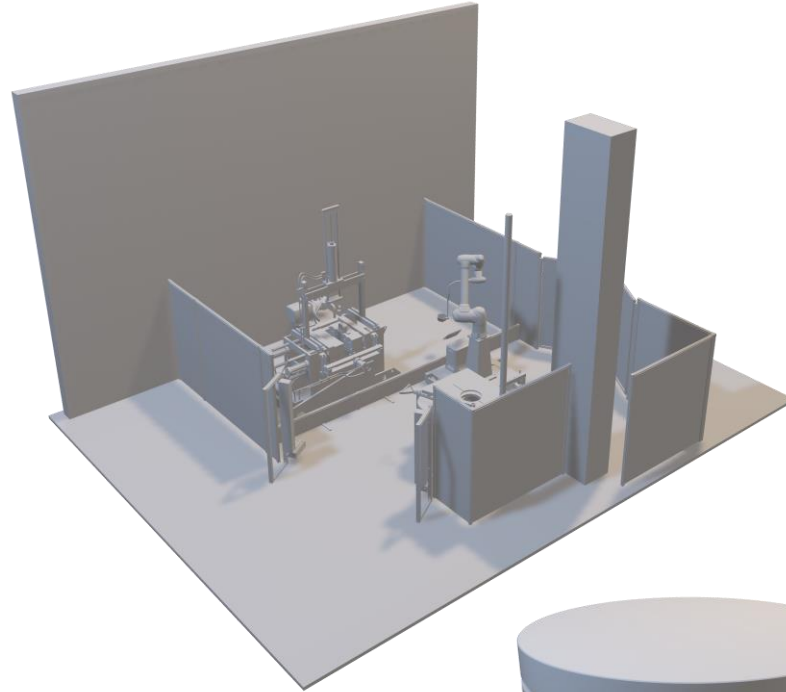
Découverte d'une cellule autonome de production automatisée de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisée



# Scenarios Pédagogiques



1

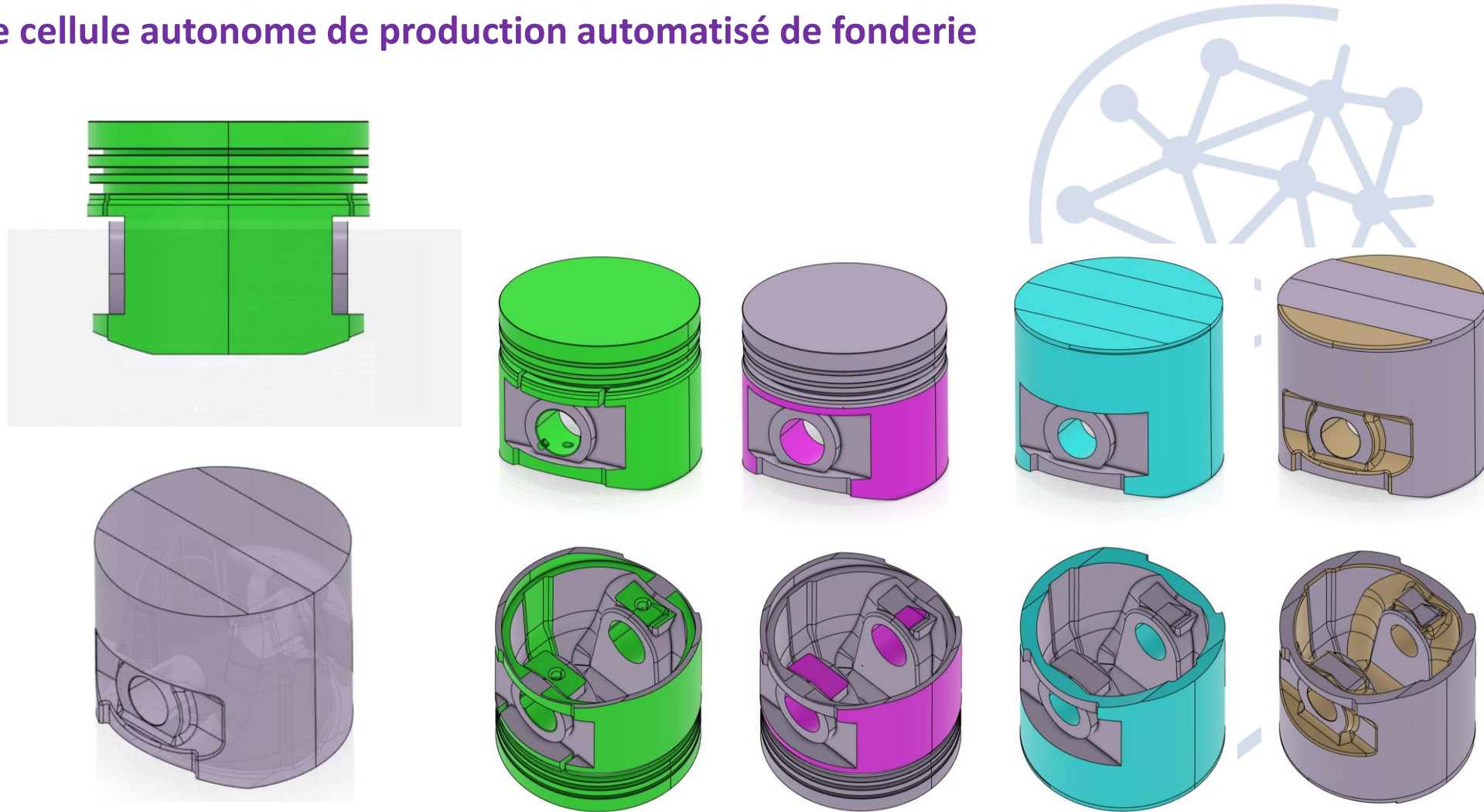
Découverte d'une cellule autonome de production automatisé de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisée



# Scenarios Pédagogiques



1

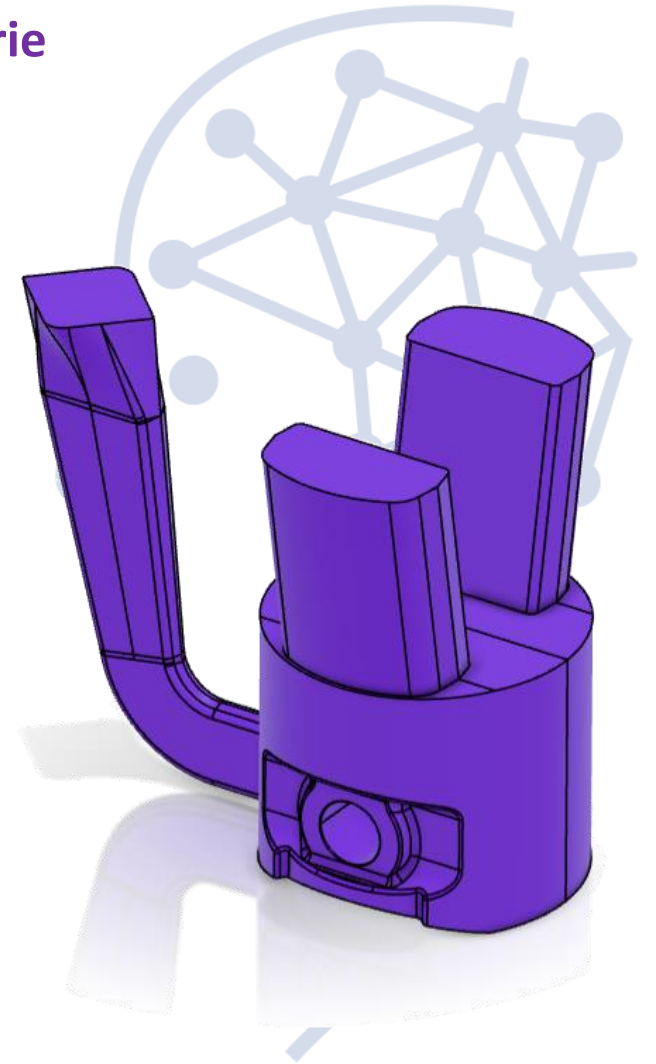
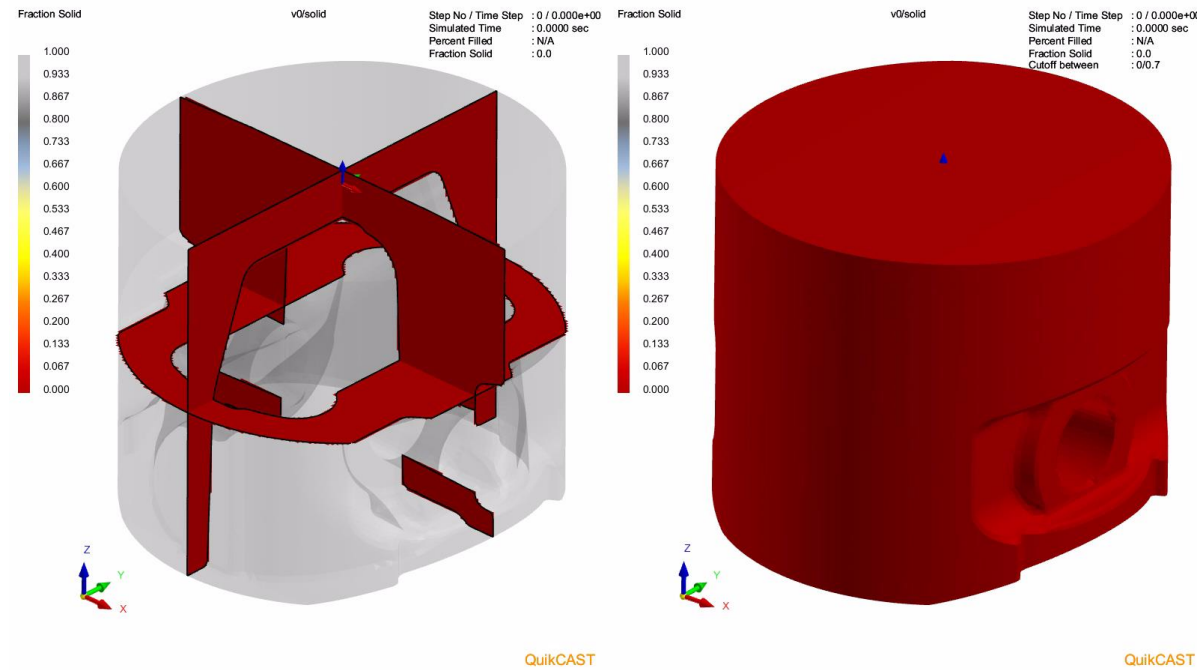
Découverte d'une cellule autonome de production automatisé de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisé



# Scenarios Pédagogiques



1

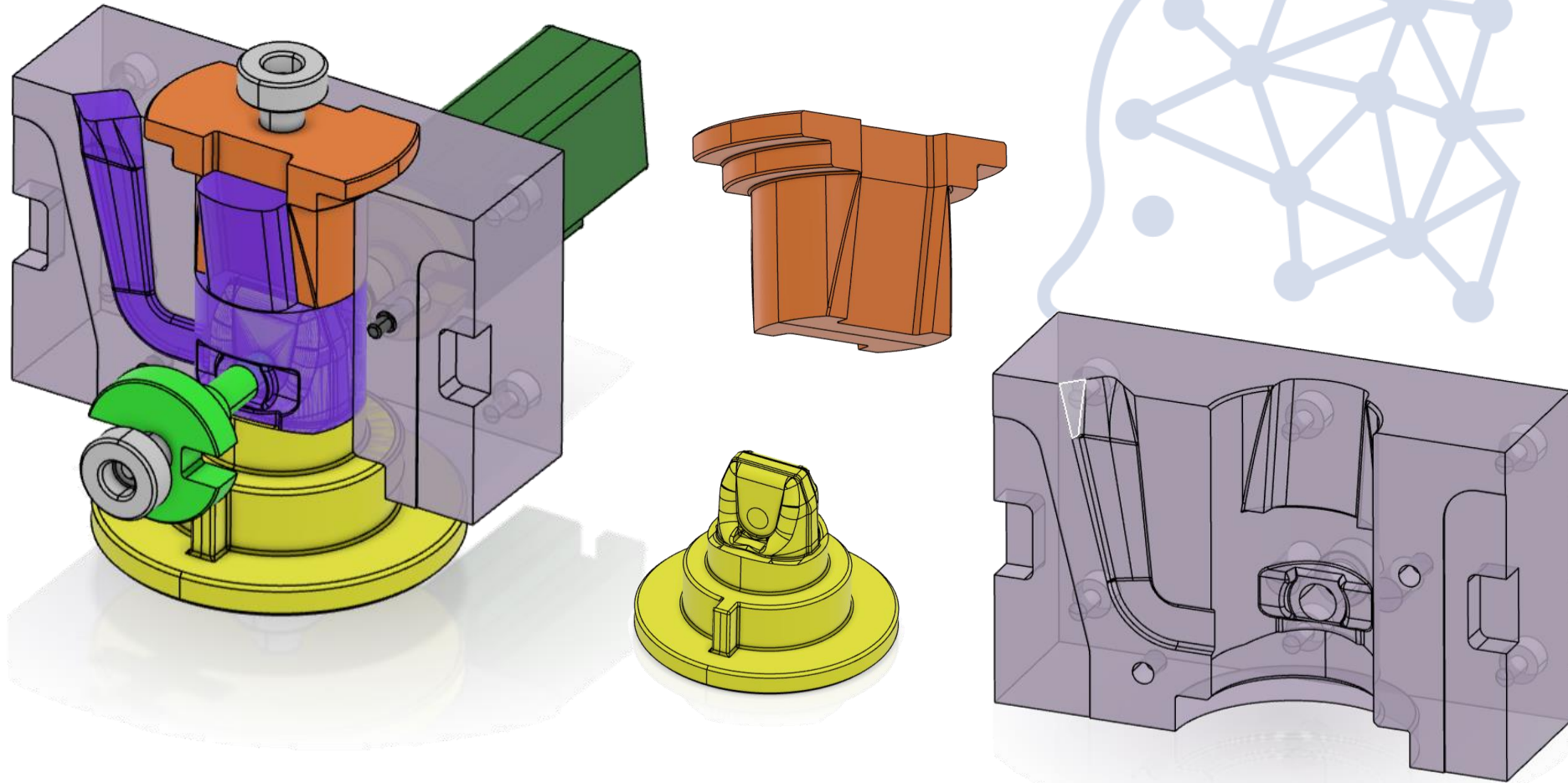
## Découverte d'une cellule autonome de production automatisé de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

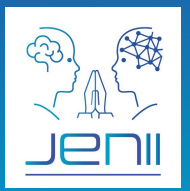
Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisée



# Scenarios Pédagogiques



1

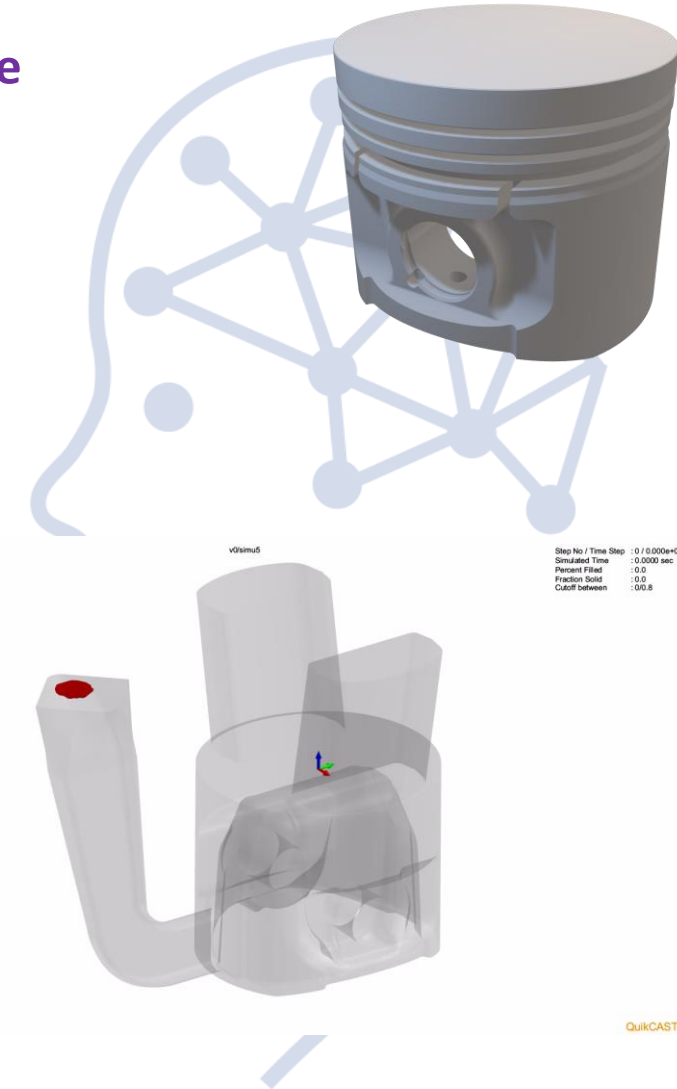
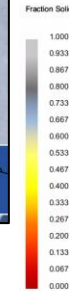
## Découverte d'une cellule autonome de production automatisé de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisée



# Scenarios Pédagogiques



1

## Découverte d'une cellule autonome de production automatisé de fonderie

Conception : du produit fini à la grappe de fonderie

Conception des outillages permanents

Découverte : Coulée manuelle

Mise en œuvre d'une UAP automatisée



## Simulation numérique, analyse de données et pilotage UAP automatisé de fonderie

### A1. Objectifs

1. Comprendre le fonctionnement d'une Unité Autonome de Production (UAP) de pièces de fonderie moulées en coulée coquille gravité.

2. Lancer une simulation numérique et analyser les résultats obtenus

3. Lancer une production de pièces après avoir réglé les paramètres du processus

4. Identifier une dérive de la production, trouver son origine et agir sur la chaîne de production

L'apprenant doit être capable de :



### A2. Compétences acquises par l'apprenant

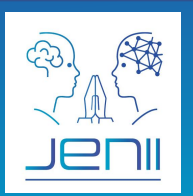
- Comprendre un cycle de production (gamme de fabrication)
- Identifier des différents organes : actionneurs, effecteurs, capteurs

- Identifier les paramètres opératoires qui pilotent ce type d'UAP
- Lancer une simulation numérique
- Analyser les résultats de simulation : température, fraction solide, quantité de malvenue, en fonction des paramètres opératoires

- Définir des paramètres opératoires permettant de produire des pièces conformes en s'appuyant sur l'outil de simulation numérique
- Réaliser le programme de l'UAP
- Respect des consignes de travail associées à l'UAP en termes de sécurité.

- Analyser l'évolution des variables de sortie (malvenue, retassures externes) en fonction des variables d'entrée du processus ( $T^\circ$  du moule,  $T^\circ$  de alliage, vitesse de basculement de la coquille)
- Trouver l'origine d'une dérive de production en s'appuyant sur des résultats de simulation numérique
- Agir sur la chaîne de production (numérique) pour résoudre le problème

# JENII : Cellule Fonderie - Scenario



2

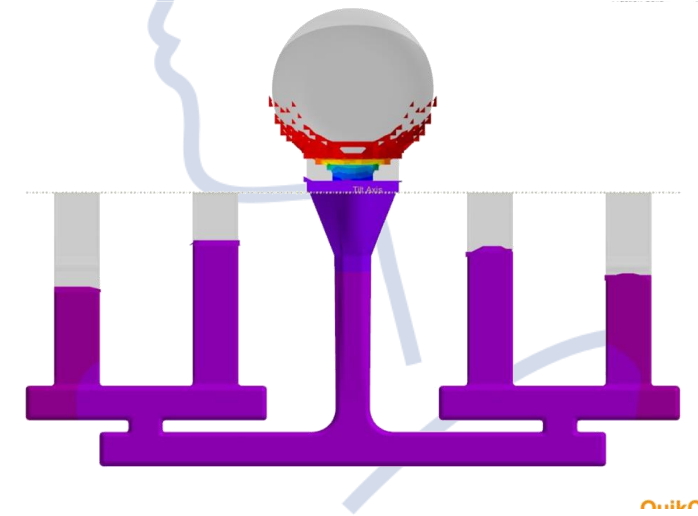
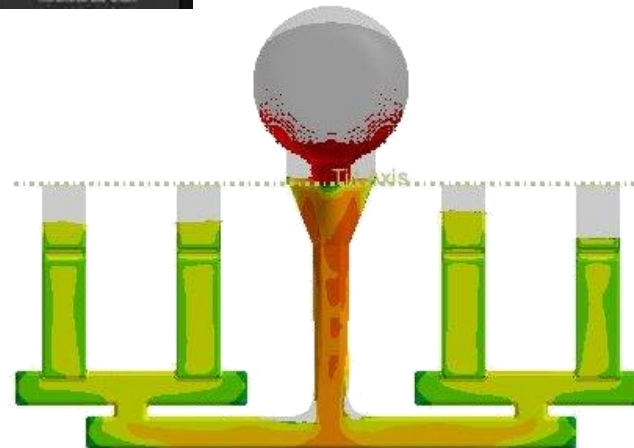
Simulation numérique, analyse de données et pilotage UAP automatisé de fonderie

Simulation hors ligne  
Définition Cycle

Mise en Œuvre dans JN  
sur un 'modèle réduit'

Suivis de KPI de  
production du cycle

Optimisation



OnilCAST

# JENII : Cellule Fonderie - Scenario



2

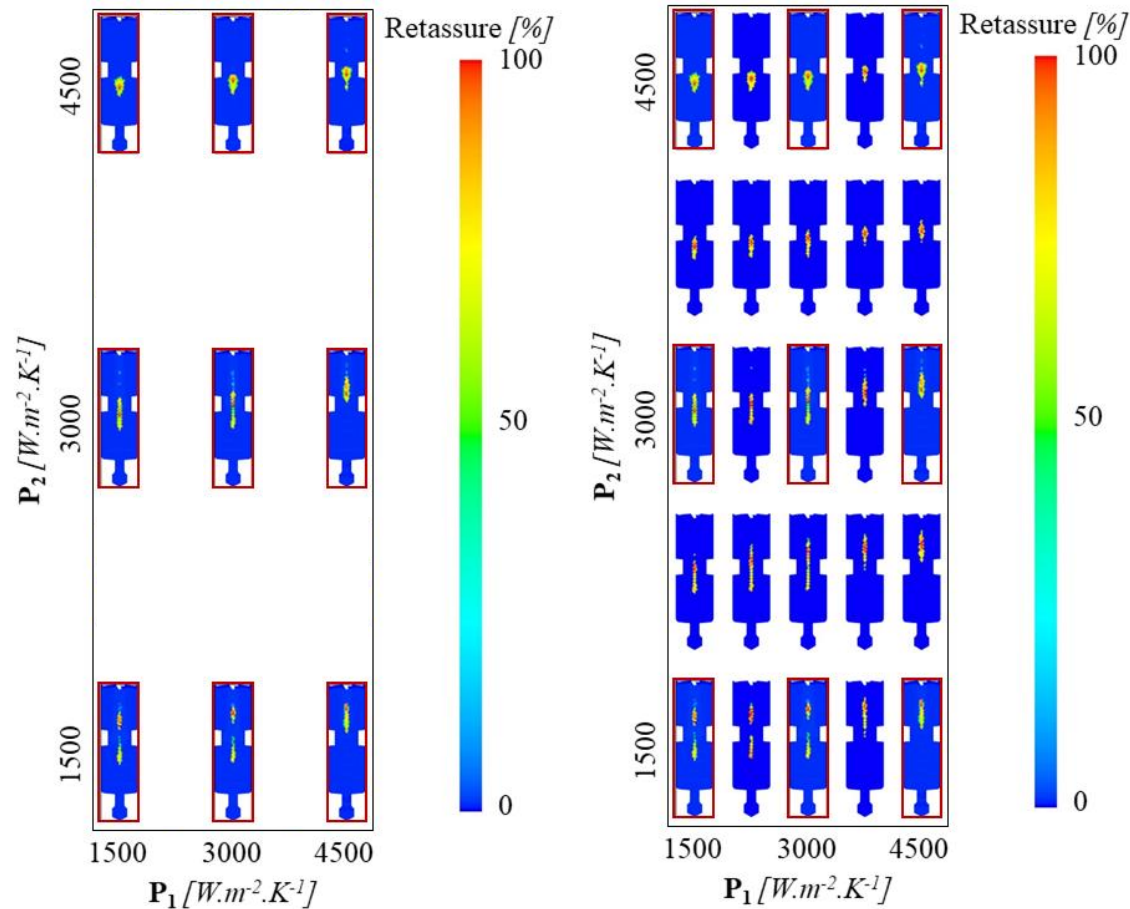
## Simulation numérique, analyse de données et pilotage UAP automatisé de fonderie

Simulation hors ligne  
Définition Cycle

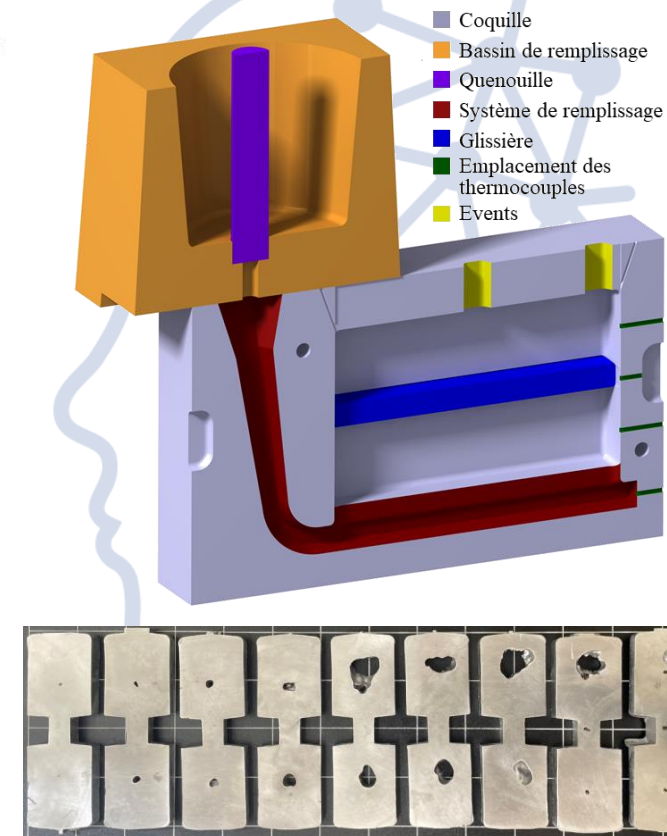
Mise en Œuvre dans JN  
sur un 'modèle réduit'

Suivis de KPI de  
production du cycle

Optimisation



Retassures simulées





Le projet JENII (JENII – ANR-21-DMES-0006) financé par l'ANR (Agence nationale de la recherche) dans le cadre de l'appel à projet DemoES du PIA4 a débuté le 2 Novembre 2021 pour une durée de 4 ans.

Ce projet coordonné par Arts et Métiers Sciences et Technologies – École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers réunit le CESI, le CNAM et le CEA.

 [linkedin.com/company/jenii](https://www.linkedin.com/company/jenii)

 @projet\_jenii

 @projet\_jenii



Angers.Equipe.Fonderie@ensam.eu

 **anr**<sup>®</sup>  
agence nationale  
de la recherche



 **Arts et Métiers**  
Sciences et  
Technologies



**CESI**  
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

le **cnam**