

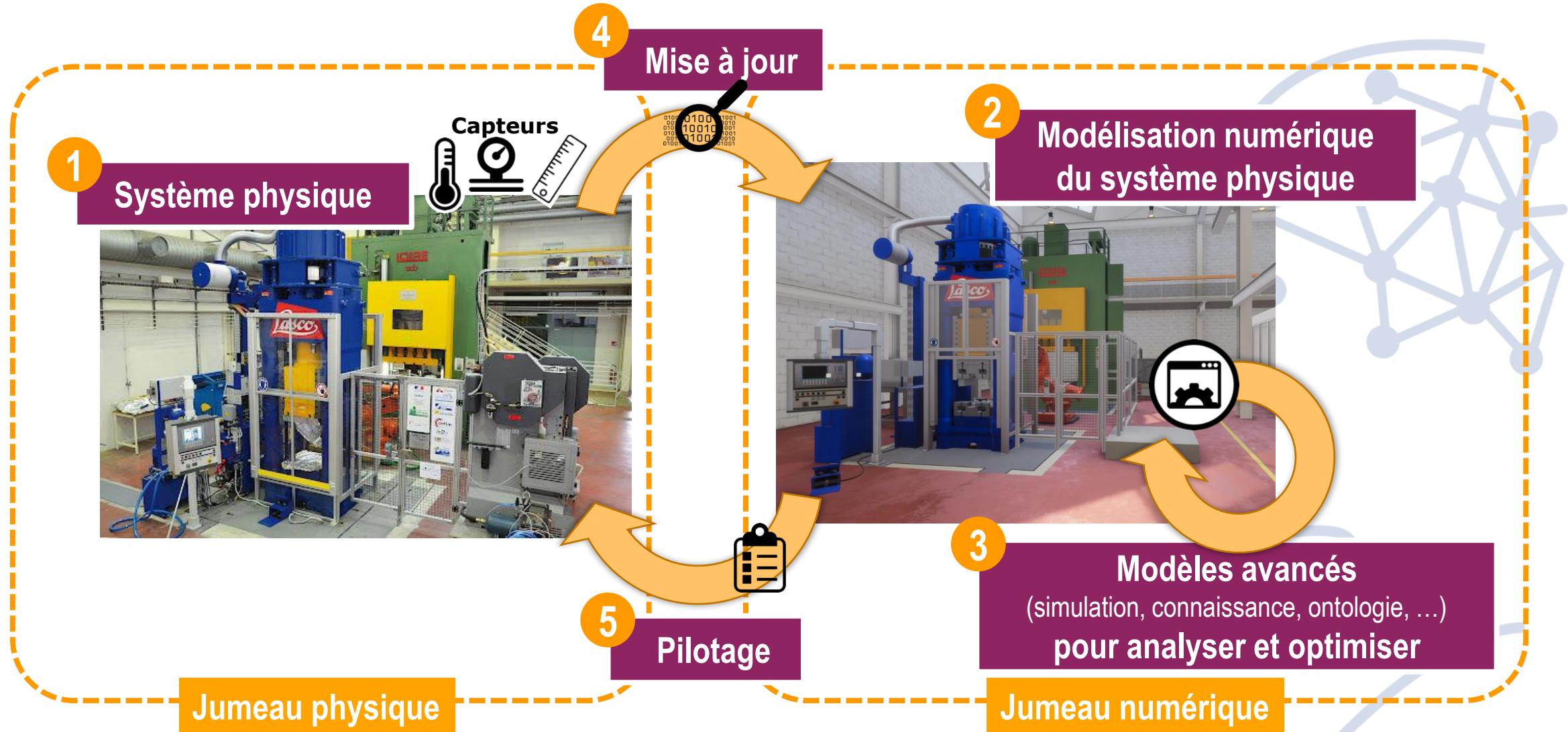
JUMEAU NUMERIQUE EN FORGEAGE



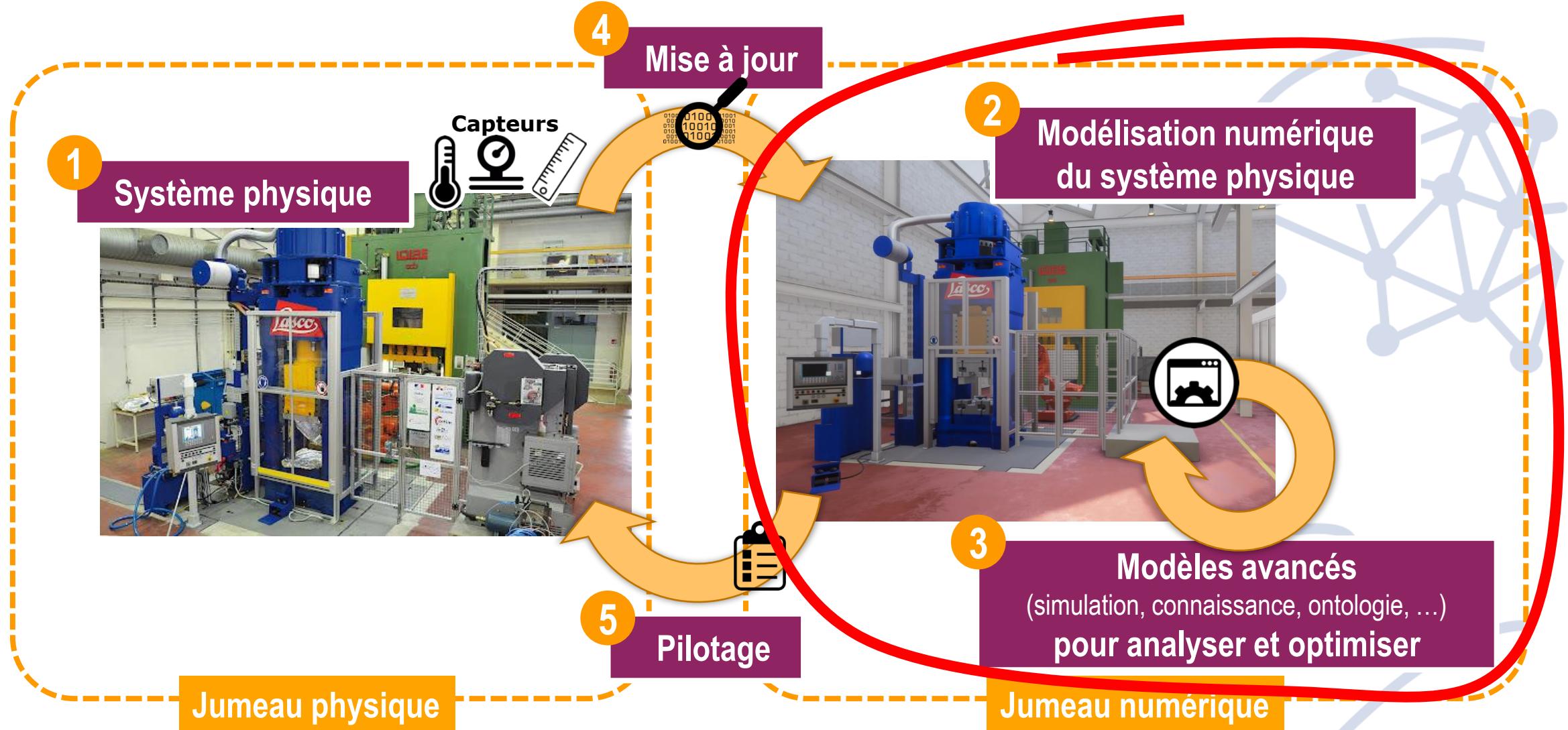
le cnam



5 briques élémentaires



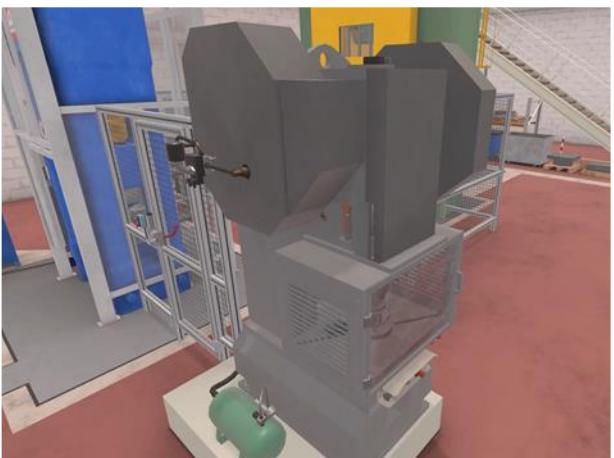
5 briques élémentaires



Les moyens



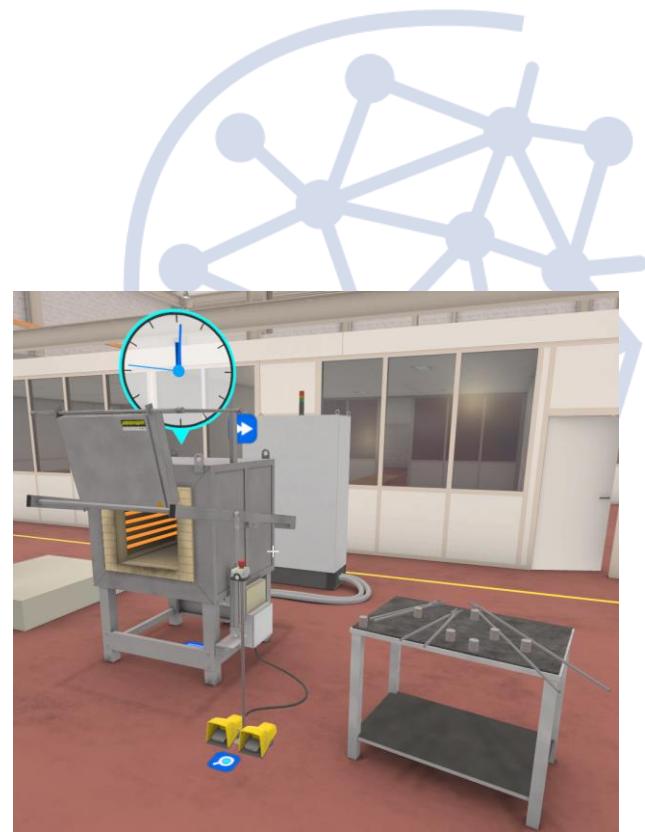
Une presse à vis



Une presse mécanique



Une presse hydraulique

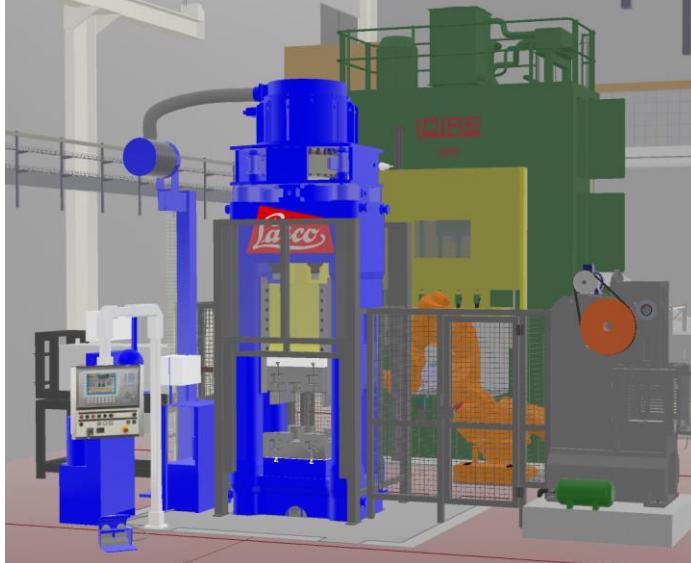


Des fours

La construction du jumeau numérique



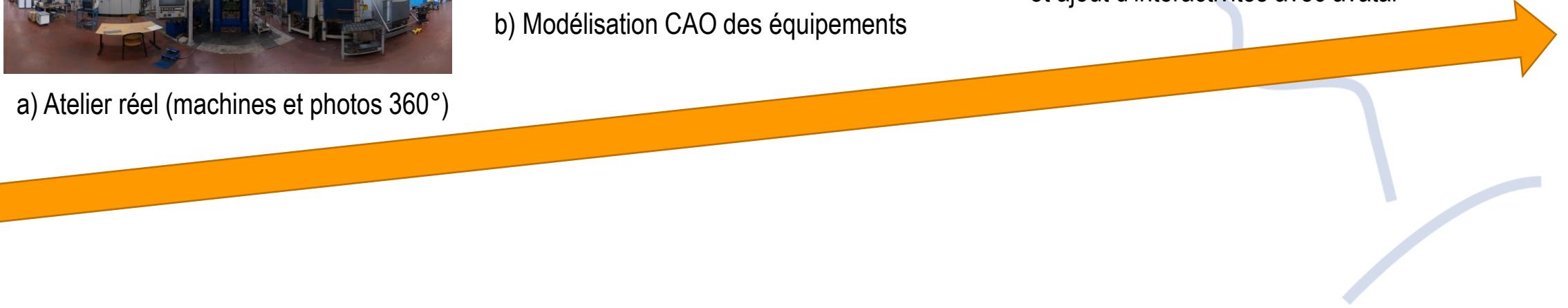
a) Atelier réel (machines et photos 360°)



b) Modélisation CAO des équipements



c) Intégration avec rendu réaliste dans Unity® et ajout d'interactivités avec avatar



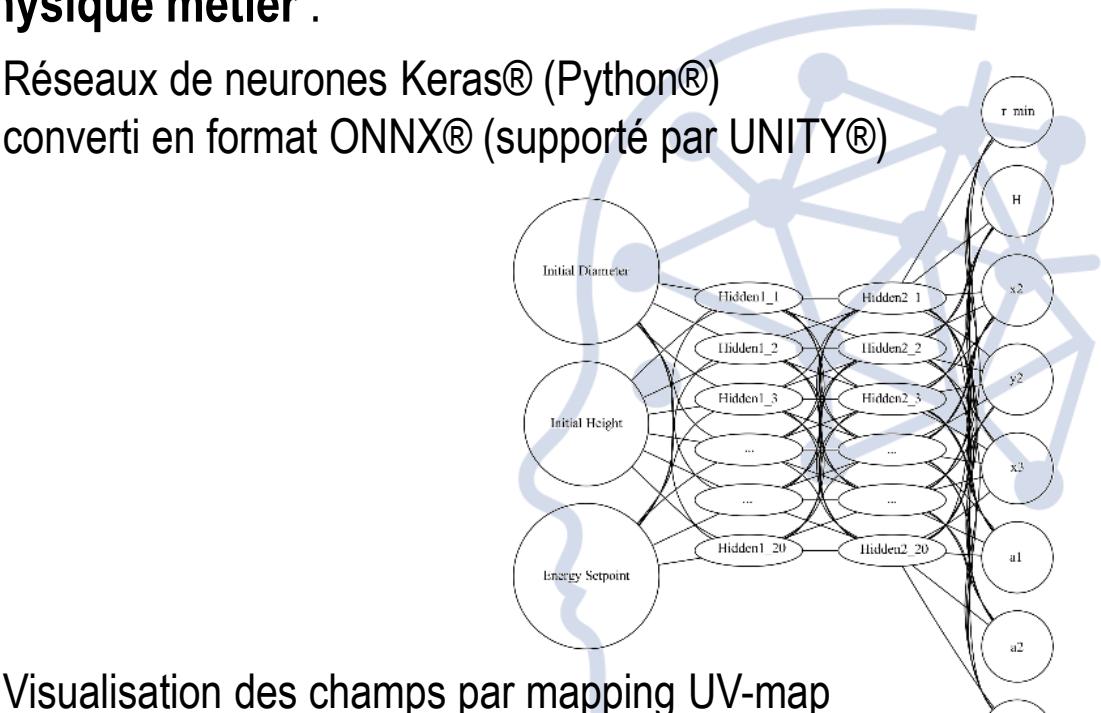
La construction du jumeau numérique



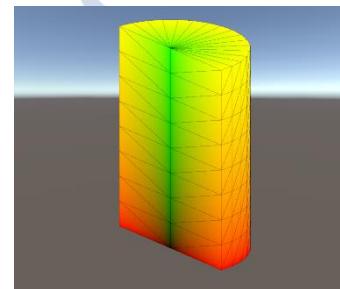
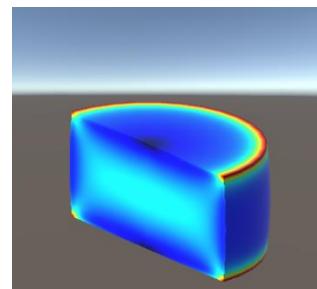
- ✓ **Environnement Virtuel** : Unity®
- ✓ **Moteur physique dynamique** : Nvidia PhysX + XDE (CEA LIST)



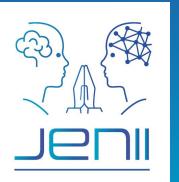
- ✓ **Physique métier** : Réseaux de neurones Keras® (Python®) converti en format ONNX® (supporté par UNITY®)



Visualisation des champs par mapping UV-map



La construction du jumeau numérique



Génération de lopins en cuivre
de différentes dimensions



Mise en forme des lopins générés,
comparaison des résultats obtenus

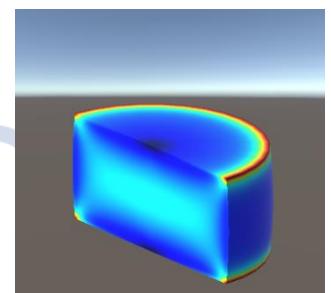
Les objectifs du jumeau numérique



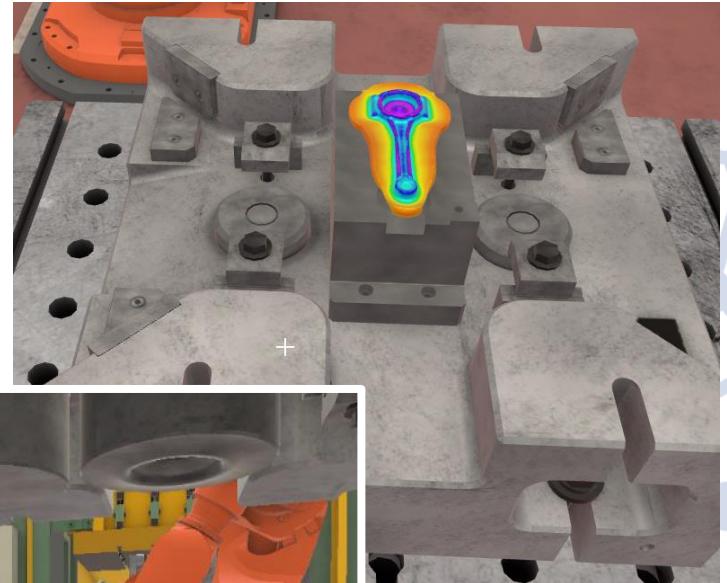
- **Voir l'invisible**



comprendre la technologie des machines



visualiser un champ

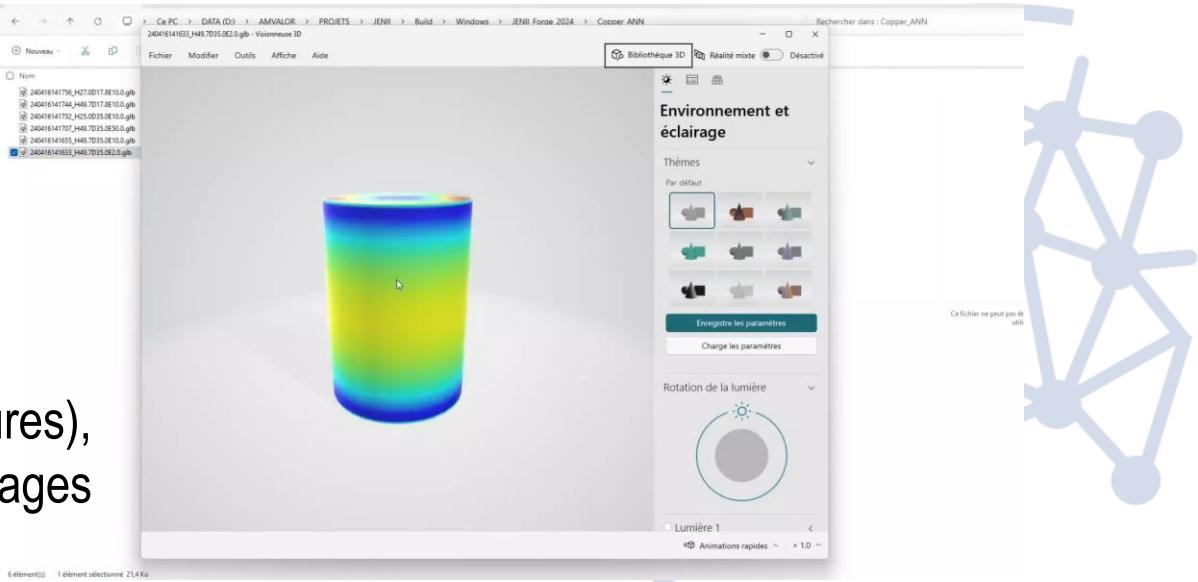


Les objectifs du jumeau numérique



- **Analyser dans une réalité augmentée**

observer un champ (températures),
comparer entre différents paramétrages



- **Rejouer sans risque :**

Faire différents essais, à l'infini, pour comprendre ou préparer un TP, un examen sans risque pour l'étudiant

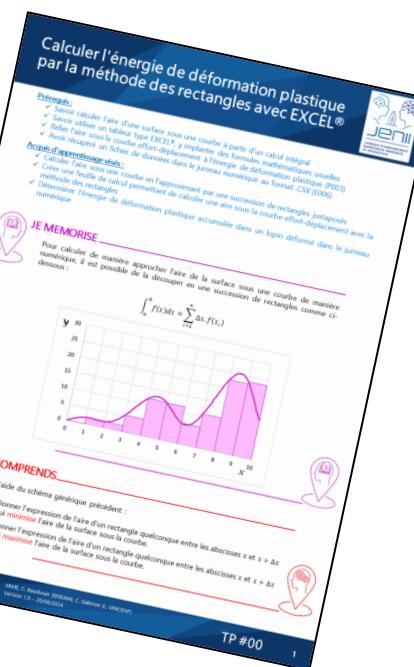
- **Rendre attractif des activités pédagogiques :**

Donner à sens concret à des activités théoriques, promouvoir le métier

Les scénarios pédagogiques



• Le principe



Des fiches élèves :

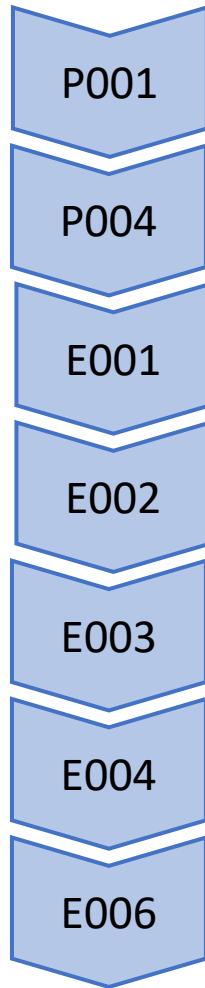
- ✓ En format A4 recto-verso / appel à des films
- ✓ Notions élémentaires à composer
- ✓ 3 catégories : Préparation, Expérimentation, Analyse
- ✓ Des activités à réaliser (application, création, évaluation)
- ✓ Fonctionnement en binôme : RV / guide

Un référentiel pédagogique enseignant :

- ✓ Présentation de la plateforme
- ✓ Démarrage du jumeau numérique
- ✓ Codifications des fiches (repères, Bloom, ...)
- ✓ Acquis d'apprentissage visés
- ✓ Éléments de correction et discussion
- ✓ Proposition de scénarios

Les scénarios pédagogiques

• TP 1 : Découvrir un environnement de forge à l'échelle industrielle (en test)



Découvrir la forge (film)

Définir le forgeage
Associer le forgeage à des produits de la vie courante

Acquérir du vocabulaire sur la forge (opérations de mise en forme)

Acquérir le vocabulaire des différentes opérations de forgeage

Se familiariser avec les manettes Quest Pro

Comprendre les fonctionnalités des différents contrôleurs des manettes

Démarrer le four à résistance thermique

Connaitre les températures de forgeage à chaud de différents matériaux
Manipuler le four à résistance thermique

Modifier les paramètres d'un cycle de forge de la presse à vis

Expliquer le rôle des paramètres de réglage de la presse à vis
Mettre en œuvre un réglage de la presse à vis

Mettre en œuvre une opération de forgeage simple sur presse à vis

Expliquer le phénomène physique d'oxydation et l'intérêt d'une opération de décalaminage
Mettre en œuvre une opération de forgeage simple (refoulement, estampage)

Récupérer des données d'acquisition sur la presse

Récupérer des données d'acquisition des différents capteurs présents sur la presse à vis



Les scénarios pédagogiques



• TP 1 : Découvrir un environnement de forge à l'échelle industrielle (en test)

- P001
- P004
- E001
- E002
- E003
- E004
- E006

Découvrir la forge (film)

Définir le forgeage

Associer le forgeage à des produits de la vie courante

Acquérir du vocabulaire sur la forge (opérations)

Acquérir le vocabulaire des différentes opérations de forgeage

Se familiariser avec les manettes Quest Pro

Comprendre les fonctionnalités des différents contrôleurs des manettes

Démarrer le four à résistance thermique

Connaitre les températures de forgeage à chaud de différents matériaux

Manipuler le four à résistance thermique

Modifier les paramètres d'un cycle de forgeage

Expliquer le rôle des paramètres de réglage de la presse à vis

Mettre en œuvre un réglage de la presse à vis

Mettre en œuvre une opération de forgeage simple sur presse à vis

Expliquer le phénomène physique d'oxydation et l'intérêt d'une opération de décalaminage

Mettre en œuvre une opération de forgeage simple (refoulement, estampage)

Récupérer des données d'acquisition sur la presse

Récupérer des données d'acquisition des différents capteurs présents sur la presse à vis

Démarrer le four à résistance thermique

Prérequis:

- ✓ Avoir démarré le jeu-mécanique IN-Forge dans un environnement virtuel
- ✓ Maîtriser les fonctionnalités des différents contrôleurs des manettes (E001)

Acquis d'apprentissage visuel:

- ✓ Connaitre les températures de forgeage à chaud de différents matériaux
- ✓ Manipuler le four à résistance thermique

JE MEMORISE

A l'aide de ressources appropriées, positionner les températures de fusion, et de forgeage à chaud, des différents matériaux suivants :

- All. d'aluminium série froid
- All. de cuivre (ex : CuCrZr)
- TiAl6V4
- Inconel 718

utilisé pour l'automobile, la métallurgie générale, le BTP, ...
utilisé pour l'aéronautique, la marine, l'agro-alimentaire, ...
utilisé pour le transport d'énergie électrique, ...
utilisé pour le biomédical, l'aéronautique, ...
utilisé pour l'aéronautique, l'aérospatial, le nucléaire, ...

1 500°C
1 400°C
1 300°C
1 200°C

J'APPLIQUE

Dans l'environnement virtuel, l'objectif est de mettre un lopin (Ø27 x 40 mm) en TiAl6V4 à chauffer dans le four à résistance électrique.

L'activité est à réaliser en binôme :

- ✓ Un élève garde cette fiche et s'immerge dans l'environnement virtuel.
- ✓ Un élève met le casque et aide son binôme à réaliser les opérations suivantes :

1. Mettre les Équipements de Protection Individuels (EPI).
2. Trouver le four à résistance et son armoire de commande :

3. Renseigner la température de consigne du four, pour forger à température un lopin en TiAl6V4 pour un touches Δ et ∇ .
NB : il est possible de grossir le panneau de commande avec la loupe.

4. Ouvrir la porte du four en cliquant (maintenir appuyé) sur la commande à pédales.

5. Prendre un lopin sur la table à la droite du four à l'aide d'une pince.

6. Mettre ce lopin au four.

7. Refermer la porte du four en cliquant (maintenir appuyé) sur la commande à pédales.

8. Accélérer le temps jusqu'à ce que le lopin soit à la bonne température (15 min) à l'aide de la double flèche au-dessus du four.

Quand ces opérations sont terminées, les deux élèves doivent échanger leur rôle.

TP #00

E002

AMIE, C. Baudouin (INSAIM), C. Gaberon (L. VINCENT) Version 1.1 - 20/06/2024

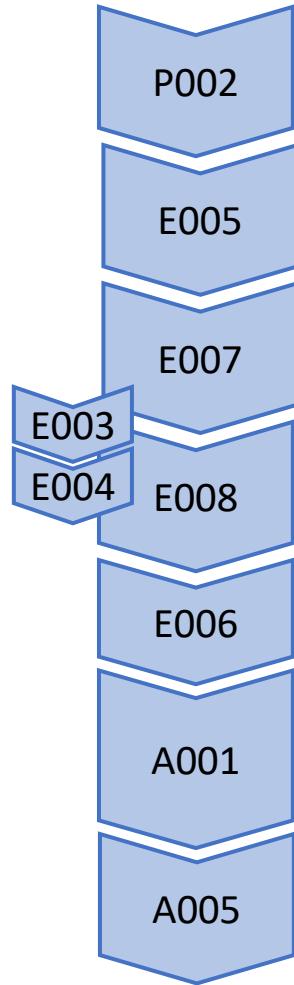
TP #00

E002

AMIE, C. Baudouin (INSAIM), C. Gaberon (L. VINCENT) Version 1.1 - 20/06/2024

Les scénarios pédagogiques

• TP 2 : Maîtriser les flux énergétiques lors d'un refoulement (à finaliser)



Comprendre la force, le travail, l'énergie et la puissance

Définir les notions de force, de travail, d'énergie et de puissance

Comprendre le fonctionnement de la presse à vis

Etablir le schéma cinématique d'une presse à vis

Déterminer l'énergie cinétique disponible au moment du choc

Générer des lopins en cuivre de différentes dimensions

Sélectionner les paramètres et obtenir la géométrie désirée

Mettre en œuvre une opération de refoulement en plusieurs coups sur presse à vis

Mettre en œuvre une opération de refoulement

Récupérer des données d'acquisition sur la presse

Récupérer des données d'acquisition des différents capteurs présents sur la presse à vis

Calculer l'énergie de déformation par la méthode des rectangles avec EXCEL®

Calculer l'aire sous une courbe en l'approximant par une succession de rectangles juxtaposés

Créer une feuille de calcul permettant de calculer une aire sous la courbe effort-déplacement avec la méthode des rectangles

Déterminer l'énergie de déformation plastique accumulée dans un lopin déformé dans le jumeau numérique

Analyser les transformations énergétiques dans une opération de forgeage

Expliquer les différentes conversions d'énergie

Justifier les différentes pertes énergétiques



Les scénarios pédagogiques



• TP 2 : Maîtriser les flux énergétiques lors d'une usinage (à finaliser)



Comprendre la force, le travail, l'énergie et la puissance

Définir les notions de force, de travail, d'énergie et de puissance

Comprendre le fonctionnement de la presse à vis

Etablir le schéma cinématique d'une presse à vis

Déterminer l'énergie cinétique disponible au moment du choc

Générer des lopins en cuivre de différentes dimensions

Sélectionner les paramètres et obtenir la géométrie désirée

Mettre en œuvre une opération de refoulement en presse

Mettre en œuvre une opération de refoulement

Récupérer des données d'acquisition sur la presse

Récupérer des données d'acquisition des différents capteurs présents sur la presse à

Calculer l'énergie de déformation par la méthode des rectangles avec EXCEL®

Calculer l'aire sous une courbe en l'approximant par une succession de rectangles juxtaposés

Créer une feuille de calcul permettant de calculer une aire sous la courbe effort-déplacement avec la méthode des rectangles

Déterminer l'énergie de déformation plastique accumulée dans un lopin déformé dans le jumeau numérique

Analyser les transformations énergétiques dans une opération de forgeage

Expliquer les différentes conversions d'énergie

Justifier les différentes pertes énergétiques



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



le cnam