



# MÉTAVERS ET JUMEAUX NUMÉRIQUES, LES TECHNOLOGIES IMMERSIVES AU SERVICE DE LA FORMATION

Claude ANDRIOT CEA LIST

Véronique Favier, responsable scientifique  
Sébastien Fernandez, chef de projet

• + 120 contributeurs



@jenii\_ensam



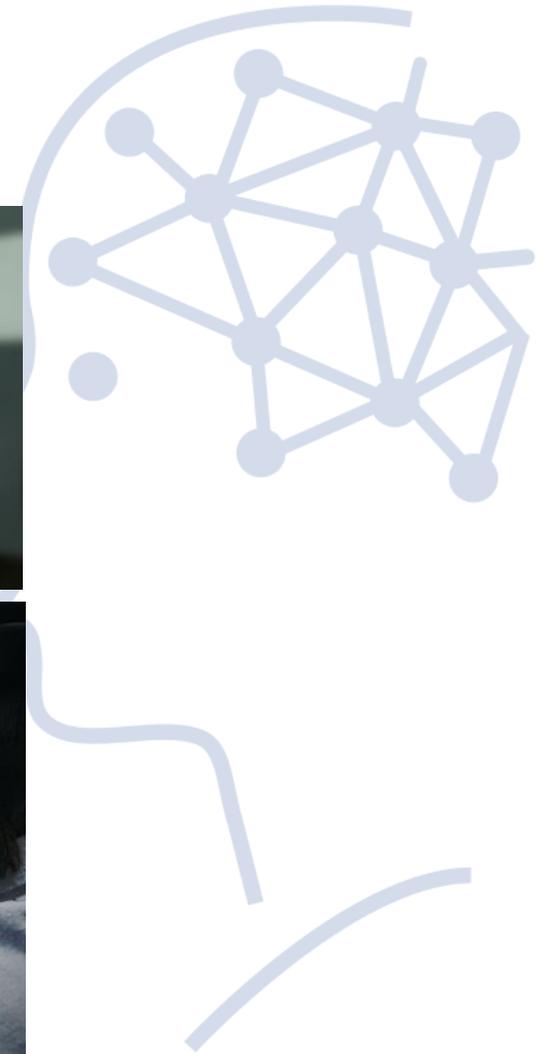
# JENII : l'idée de départ



des jeunes



des industries

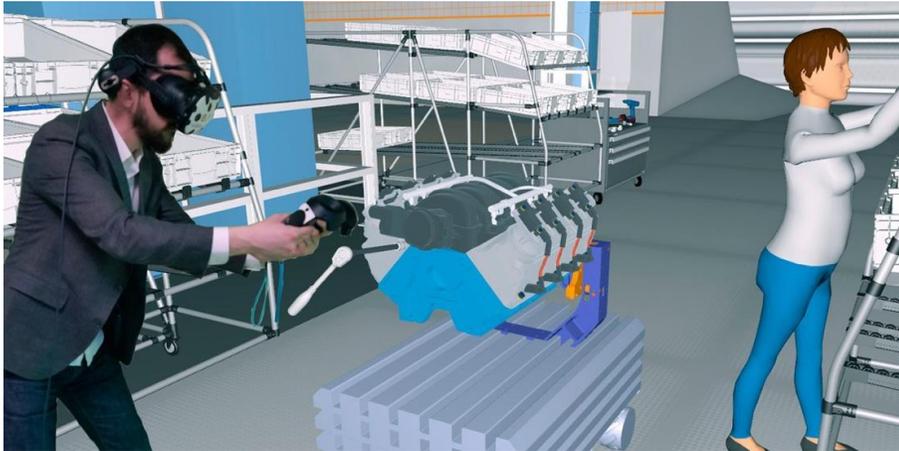


# JENII : l'ambition



- Former via les jumeaux numériques : nouveaux moyens d'apprentissage
- Former aux jumeaux numériques : nouveaux outils de l'industrie

→ jumeaux numériques **technologiques** (de systèmes industriels réels) immersifs et interactifs  
→ questionnement sur l'usage, l'accessibilité et l'inclusion



# Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?



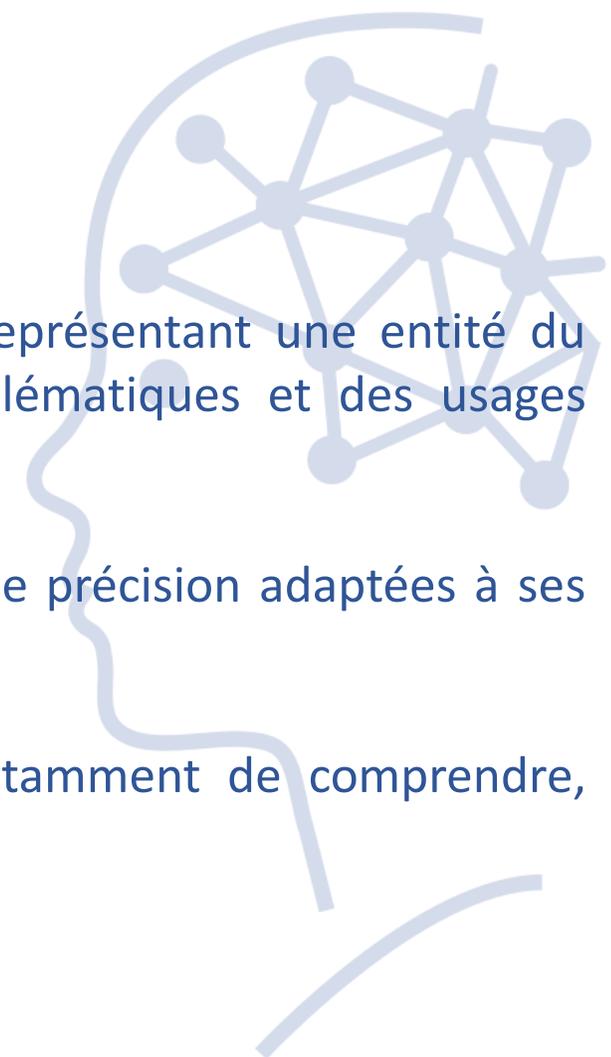
Définition du jumeau numérique convenue à l'AIF :



« Un Jumeau Numérique est un ensemble organisé de modèles numériques représentant une entité du monde réel (et si besoin, de son environnement) pour répondre à des problématiques et des usages spécifiques.

Le Jumeau Numérique est mis à jour par rapport au réel, à une fréquence et une précision adaptées à ses problématiques et à ses usages.

Le Jumeau Numérique est doté d'outils d'exploitation avancés permettant notamment de comprendre, analyser, prédire ou optimiser le fonctionnement et le pilotage de l'entité réelle. »

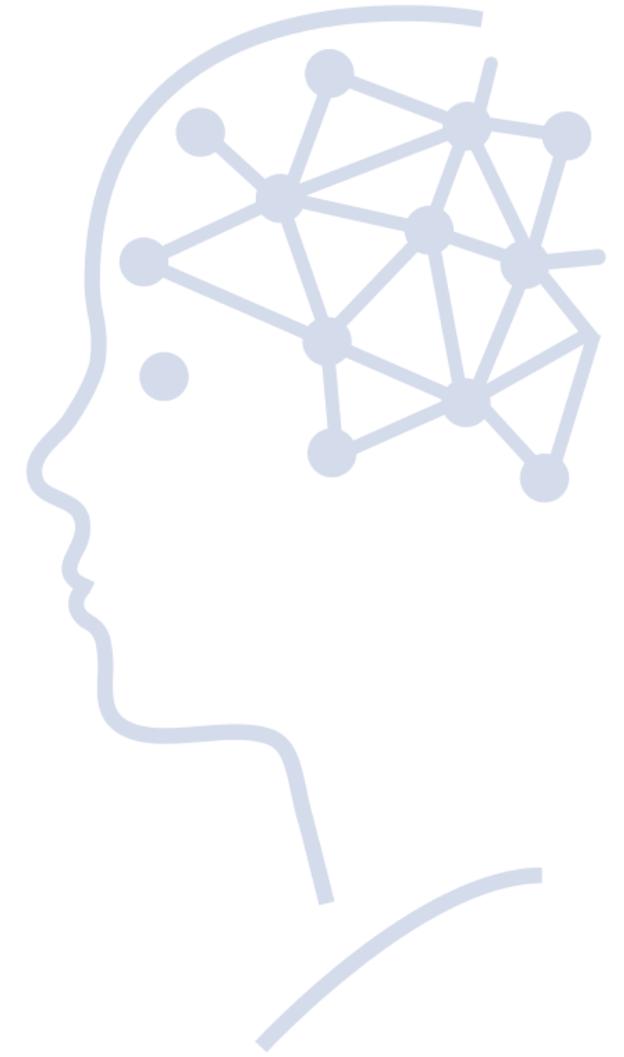


# Jumeau numérique dans l'industrie ?



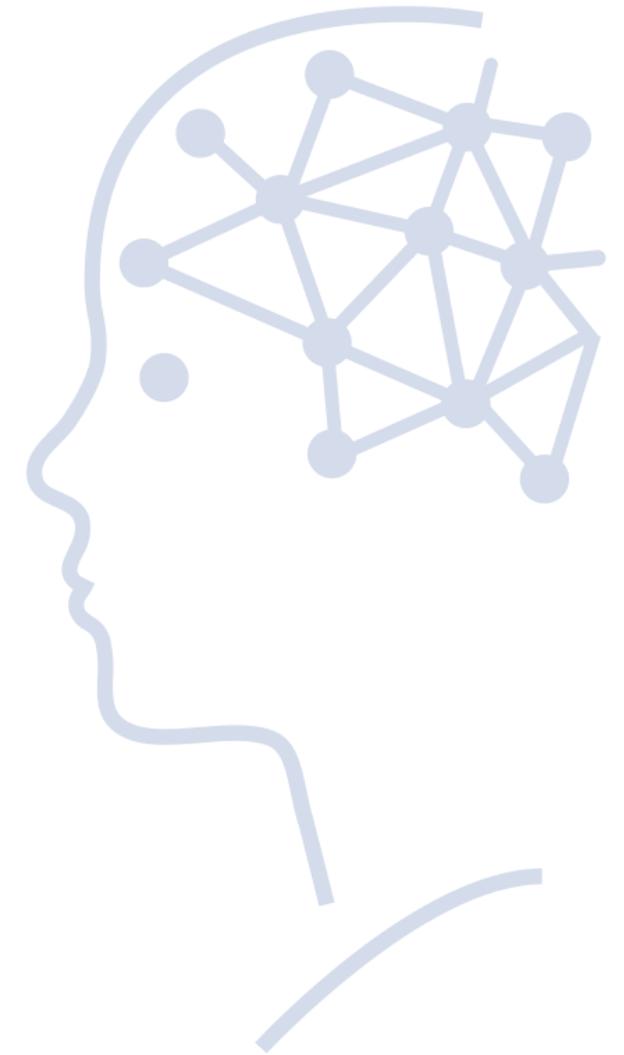
Les usages les plus fréquents dans l'industrie ont pour finalité de :

- faciliter la conception en amont
- optimiser les opérations
- rendre possible la maintenance prédictive
- permettre de tester des scénarii
- détecter des anomalies
- superviser et piloter le jumeau physique, etc.



## Une boîte à outils comprenant des démonstrateurs :

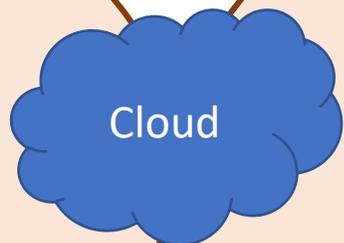
- Une plateforme de conception de jumeaux numériques
- Une plateforme de diffusion de jumeaux numériques
- Un campus virtuel immersif
- Des guides pour la création de scénarii pédagogiques
- Des exemples de jumeaux numériques pour tester cette boîte à outils



# Jumeaux numériques & Campus immersif



**Jumeau numérique**



**Campus immersif**



## Pourquoi un campus ?

Le Campus Immersif est un lieu d'expérimentation de nouvelles fonctionnalités pédagogiques

Le Campus Immersif doit être accessible de partout, de tout appareil, sans installation.  
Il ne doit pas avoir de frein à son utilisation.



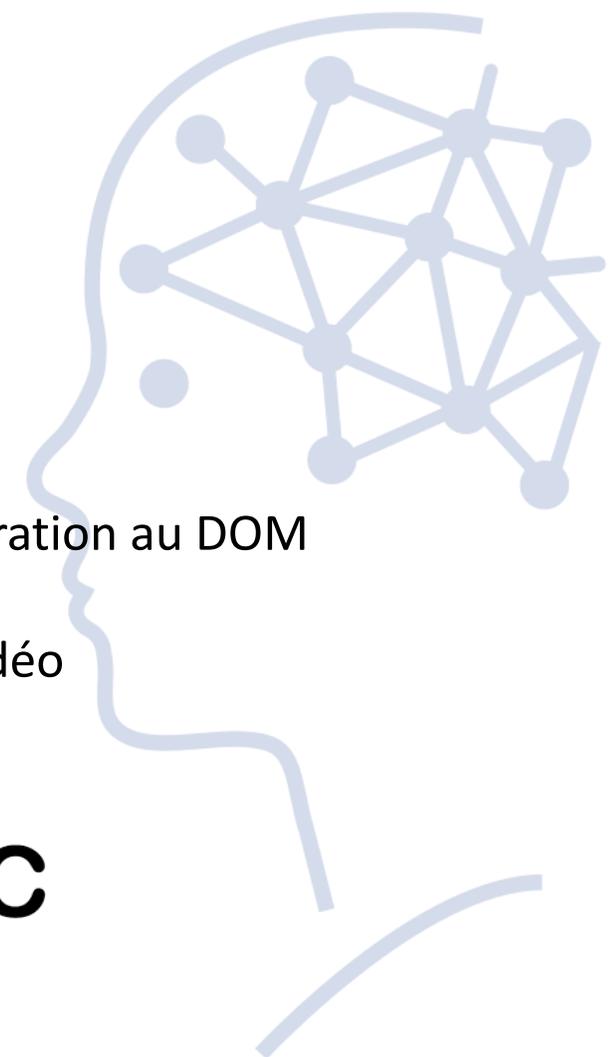
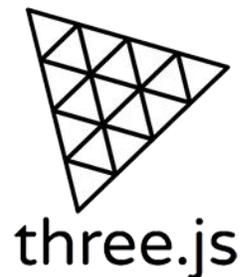
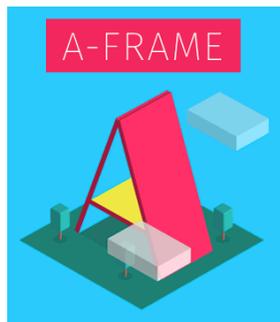
- Entraide
- Socialisation
- Attractivité
- Accessibilité



## Quelle architecture ?

Choix d'une stack **OPEN SOURCE** : **A-FRAME** + **Three.js** + **WebRTC**

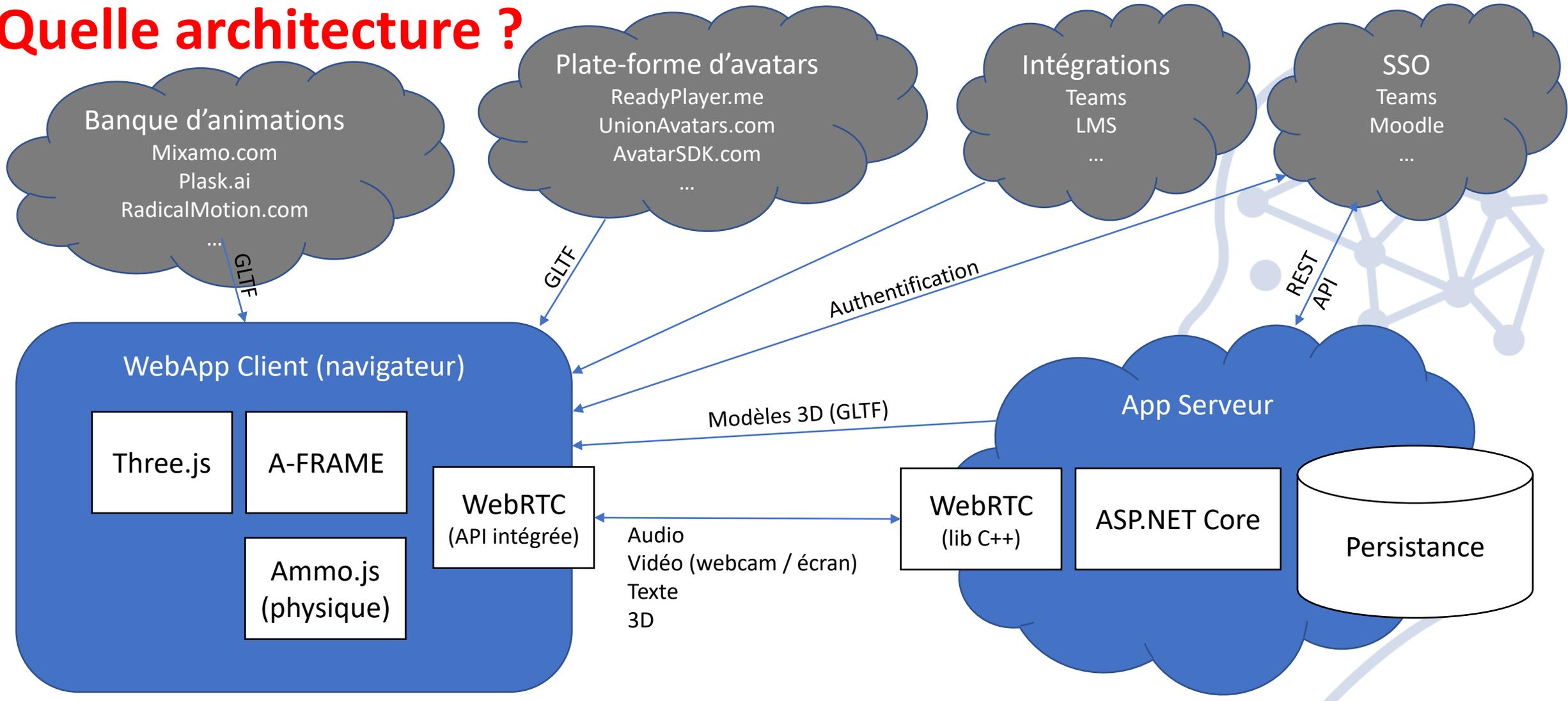
- Three.js est le moteur 3D WebGL/WebXR le plus utilisé
- A-FRAME ajoute une approche System/Entity/Component (équivalent à GameObject/Behaviour dans Unity et Actor/Component dans UE) et l'intégration au DOM
- WebRTC est l'unique API standard permettant la diffusion de flux audio/vidéo



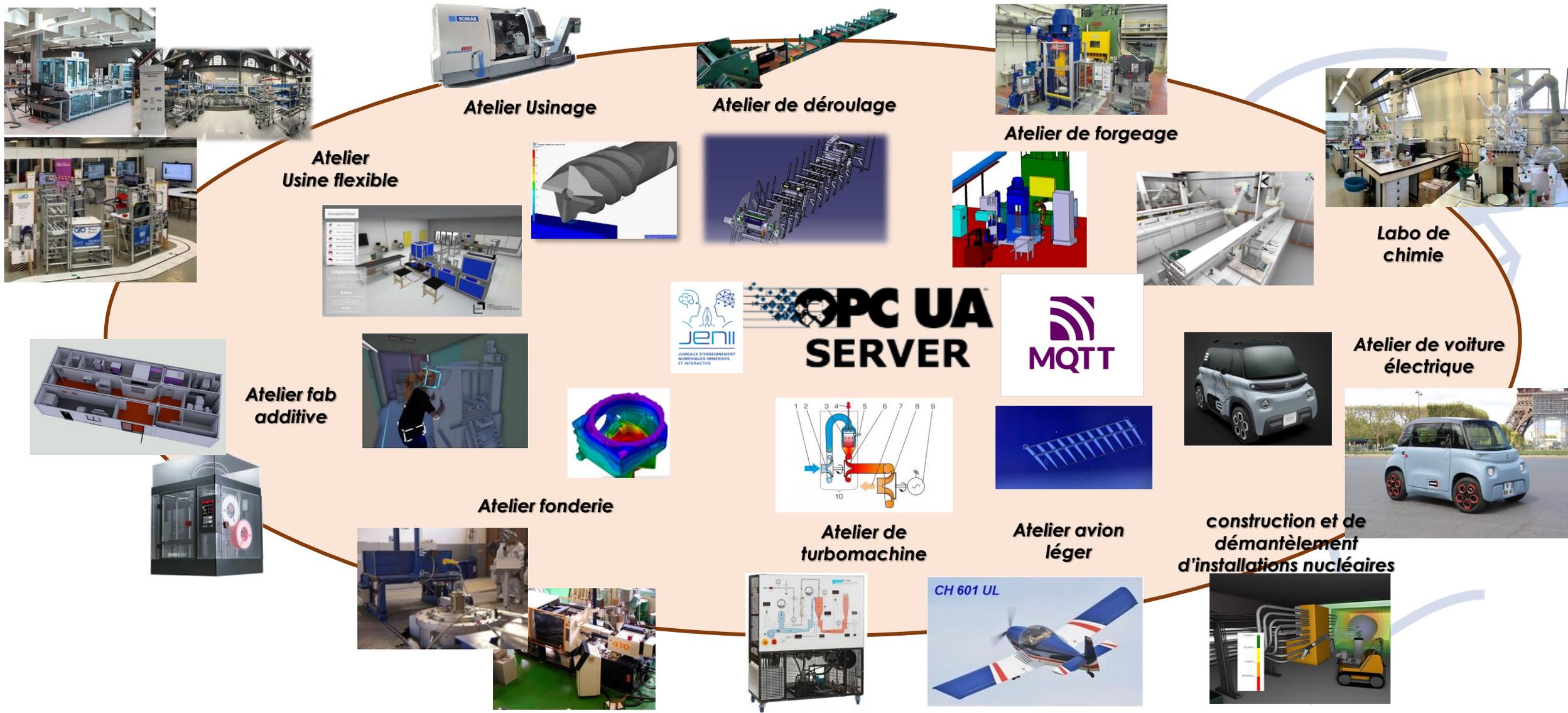
# Campus immersif



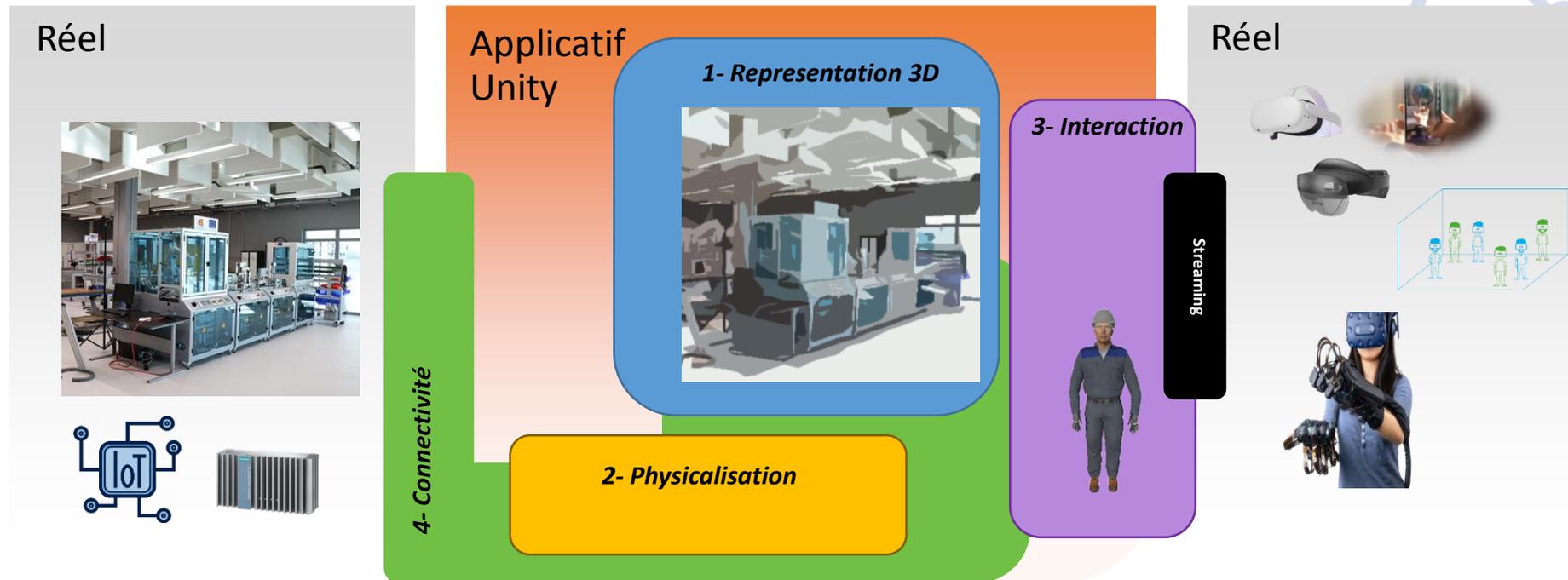
## Quelle architecture ?



# Les jumeaux numériques de jenii



## Comment se décompose le jumeau numérique ?



# Les jumeaux numériques de jeni

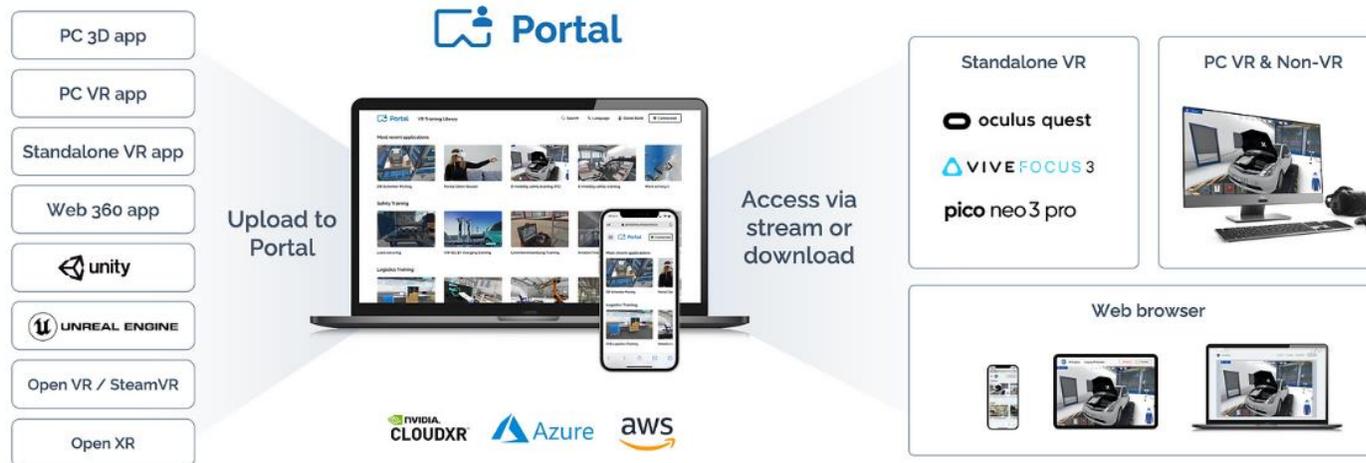


## Comment déployer les jumeaux numériques?

- Tous les JN seront accessibles via un store dans le cloud pour faciliter le déploiement (one click).
- les JN pourront fonctionner dans le cloud (Innoactive) et dans ce cas les étudiants pourront agir avec eux via la technologie de streaming proposée par Nvidia cloud XR.

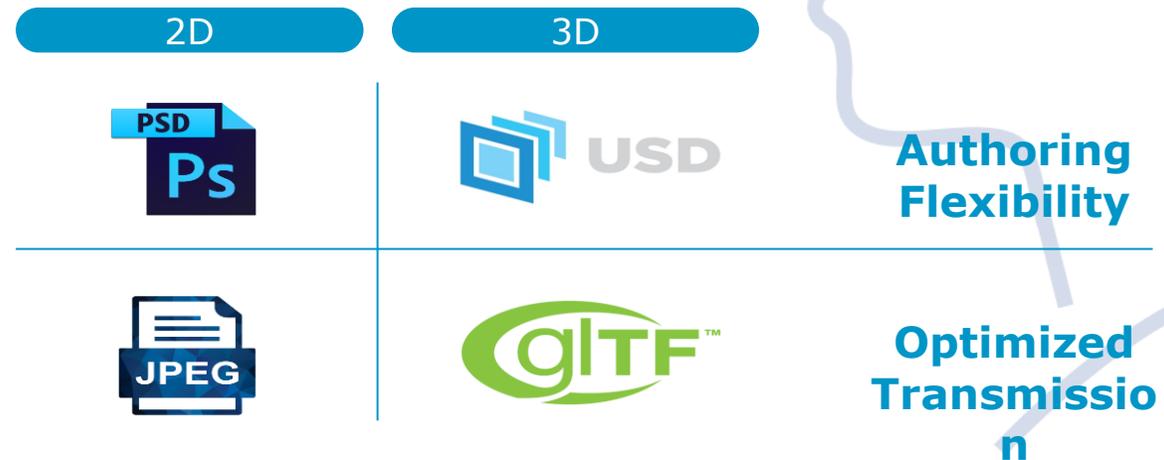
### Cross-platform XR CMS

All your apps available cross-platform. Portal embraces your whole app portfolio and offers a clean, unified user experience on every device.



## Comment gérer l'interopérabilité entre les jumeaux numériques

- Tous les JN seront décrits dans des formats ouverts (GLTF, USD) extensions promus par la Metaverse Standard Forum pour décrire la géométrie, les comportement, l'audio ?, les avatars, les animation, etc.).
- Ces standards permettent de gérer l'interopérabilité entre le campus virtuel et la plateforme de création des JN
- Des extensions (prévues dans le format) seront intégrées pour gérer :
  - La simulation physique
  - La connectivité
  - Les scénarios pédagogiques

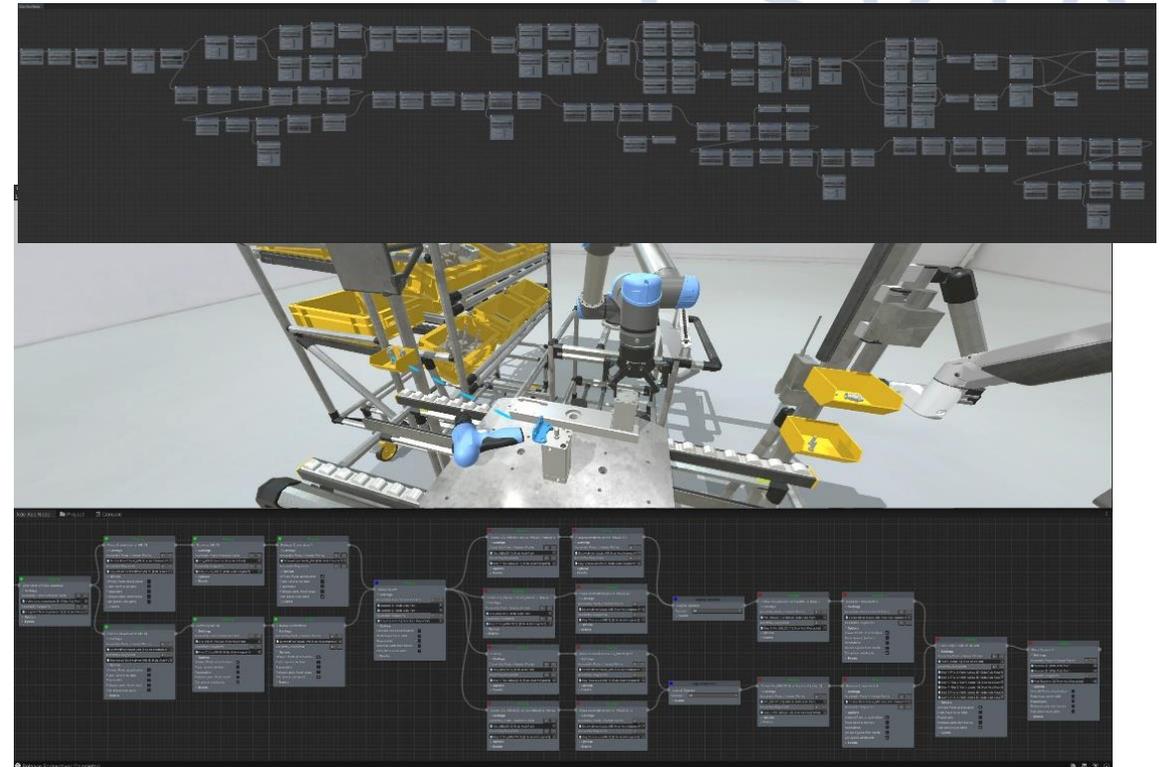
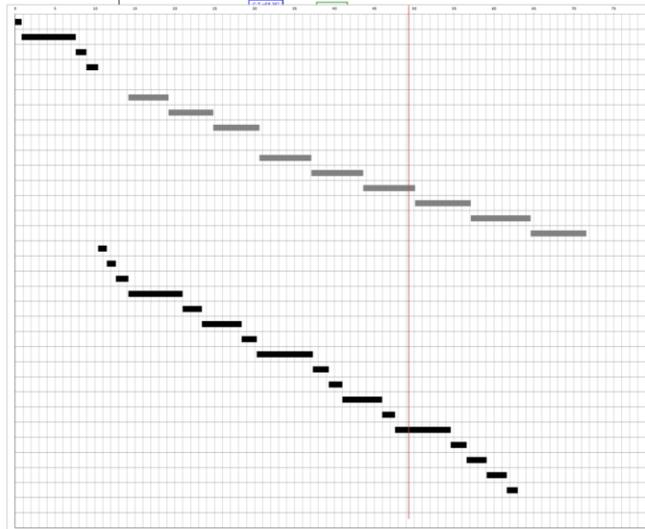


## Comment créer un scénario utilisant le Jumeau Numérique ?

- Les scénarios seront accessibles par les enseignants ou les élèves utiliseront un approche NO CODE (programmation Nodale).
- Ils n'auront pas besoin d'avoir une compétence en programmation

Assemblage collaboratif vérin pneumatique

#	Opération	ref. sous composants	Ordre	Cobot	ms	ms	ms	ms
1	Recupérer sous assemblage corps vérin = face inférieure + vis M8 (x2)	577 + 226 + 408 (x2)	0,3		0,3	0,3	0,3	0,3
2	Placer les vis 3 et 4	408 (x2)	6,8		6,8	6,8	6,8	6,8
3	Déposer la visseuse et retourner le sous assemblage (ref. sous assemblage 1)	277 + 226 + 408 (x2) (sous assemblage 1)	1,3		1,3	1,3	1,3	1,3
4	Prendre et déposer le corps vérin sur le plan de travail	575 + 873 + 408 (x2)	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5
5	Prendre et déposer le corps vérin sur le plan de travail	277		5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
6	Prendre et déposer la face inférieure sur le corps vérin	236		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
7	Déposer vis 1 sur la face inférieure	408		5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
8	Déposer vis 2 sur la face inférieure	408		5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
9	Prendre et déposer la face inférieure sur le corps vérin			5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
10	Prendre et déposer la face supérieure sur le plan de travail	873		6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
11	Prendre et déposer vis 3 sur la face supérieure	408		6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
12	Prendre et déposer vis 4 sur la face supérieure	408		6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
13	Prendre et déposer la tige piston sur le plan de travail	575		7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
14	Placer la face supérieure et le 2 vis sur la tige piston			7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
15	Prendre et approcher de l'opérateur le sous assemblage 2	873 + 575 + 408 (x2)	7,0		7,0	7,0	7,0	7,0
16	Insérer la tige piston dans le sous assemblage 1	5x assemblage 1 + 5x assemblage 2	1,1		1,1	1,1	1,1	1,1
17	Placer la face supérieure sur le corps de vérin	5x assemblage 1 + 5x assemblage 2	1,1		1,1	1,1	1,1	1,1
18	Prendre et approcher la visseuse M8	408 (x2)	1,6		1,6	1,6	1,6	1,6
19	Serrer les vis 3 et 4	287	2,4		2,4	2,4	2,4	2,4
20	Déposer la visseuse et prendre une patte de fixation	878 (x2)	5,0		5,0	5,0	5,0	5,0
21	Prendre et positionner la visseuse M8		1,3		1,3	1,3	1,3	1,3
22	Serrer les vis M8 (x2)	878 (x2)	7,9		7,9	7,9	7,9	7,9
23	Déposer la visseuse et retourner le vérin	287	2,0		2,0	2,0	2,0	2,0
24	Prendre une patte de fixation		1,7		1,7	1,7	1,7	1,7
25	Prendre et positionner la visseuse M8	878 (x2)	5,0		5,0	5,0	5,0	5,0
26	Serrer les vis M8 (x2)		1,8		1,8	1,8	1,8	1,8
27	Déposer la visseuse et prendre les raccords pneumatiques (x2)	574 (x2)	7,9		7,9	7,9	7,9	7,9
28	Serrer le connecteur sur la face avant		2,5		2,5	2,5	2,5	2,5
29	Serrer le connecteur sur la face arrière		2,5		2,5	2,5	2,5	2,5
30	Ejecter le produit fini		1,4		1,4	1,4	1,4	1,4



# 1- Représentation 3D



- Choix de UNITY3D, UNREAL
- Modèles reconstruits à partir des CAO et des Scans 3D des sites physiques



## 2- Physicalisation du JN

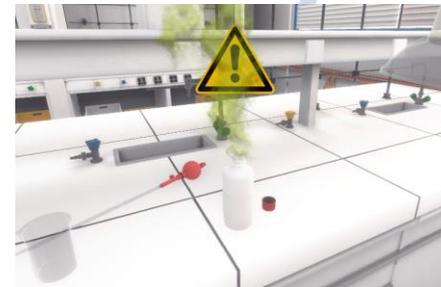


**Simulation mécanique : moteur physique qui gère la cinématique, la dynamique des équipements et les interactions avec l'opérateur**

- Cinématique (ex: j'ouvre une porte, le robot prend une pièce),
- Collisions et contacts (ex: je laisse tomber un objet, je mets une pièce dans un mors, etc.)

**Simulation des autres phénomènes par animations**

- Ex : étincelle, flamme, fumée, lubrification, etc.



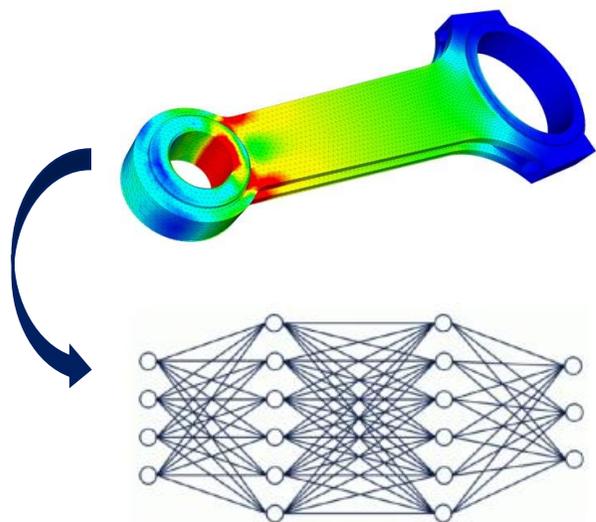
## 2- Physicalisation du JN



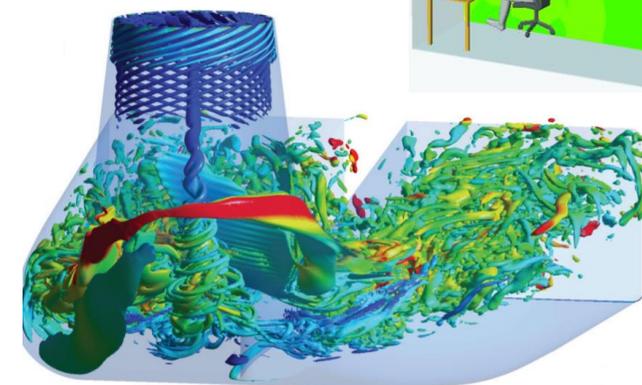
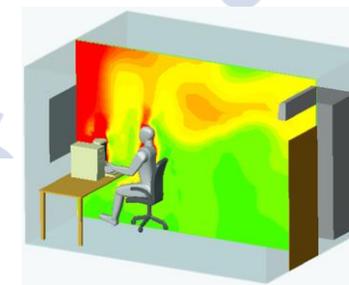
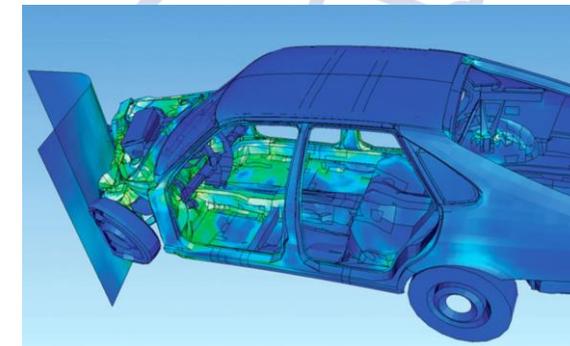
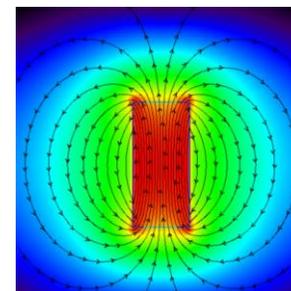
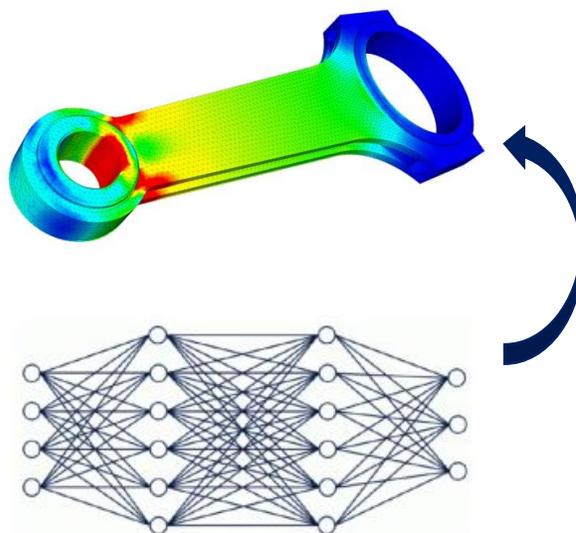
# Comment simuler des « process » complexes en temps interactif ?

Simulation des procédés et modèles réduits (IA)

Phase  
d'entraînement  
*hors-ligne*

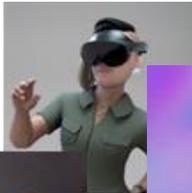


Phase de  
restitution  
*temps-réel*



# 3. Interactions

## Comment les apprenants vont interagir avec les jumeaux numériques ?



*En distanciel*

*En présentiel sans le système physique*

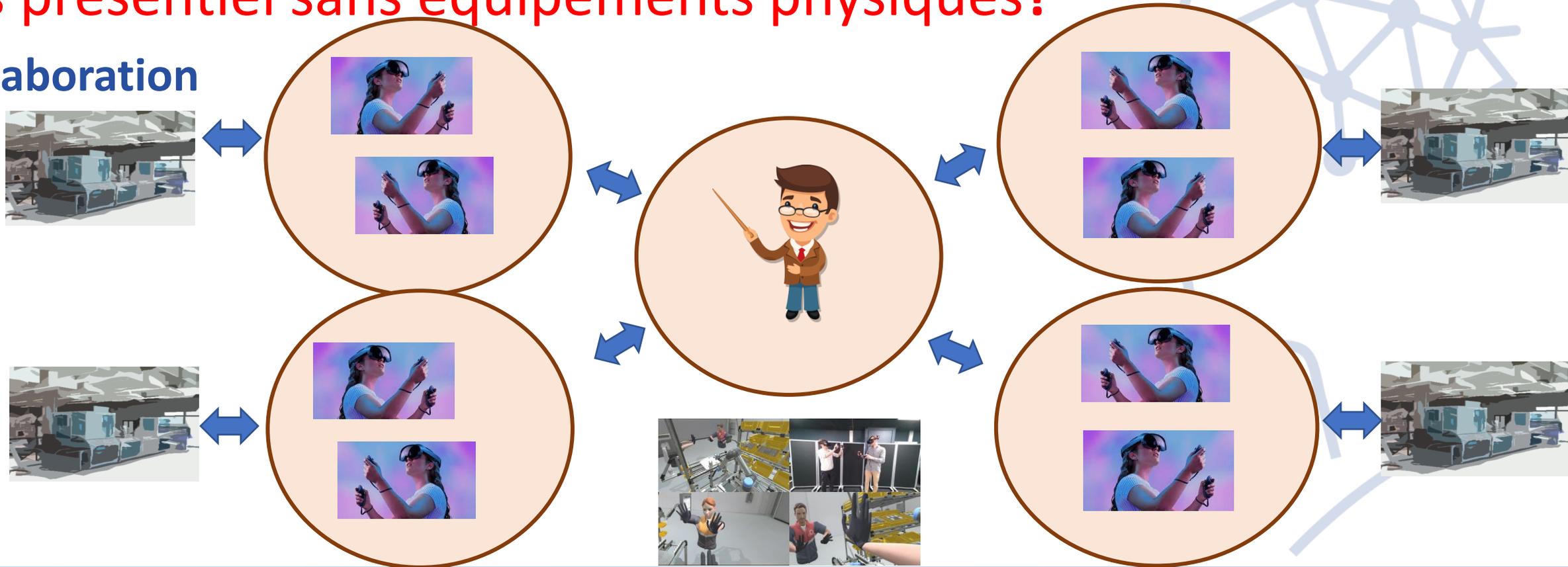
*En présentiel avec le système physique*

# 3. Interactions



**Comment les apprenants et l'enseignant vont interagir avec les jumeaux numériques : cas présentiel sans équipements physiques?**

**Collaboration**



# 3. Interactions



## Comment les apprenants vont interagir avec les jumeaux numériques :

Cas présentiel apprenants et enseignants sans jumeaux physiques ?

Espace physique multi joueurs : de type LBE

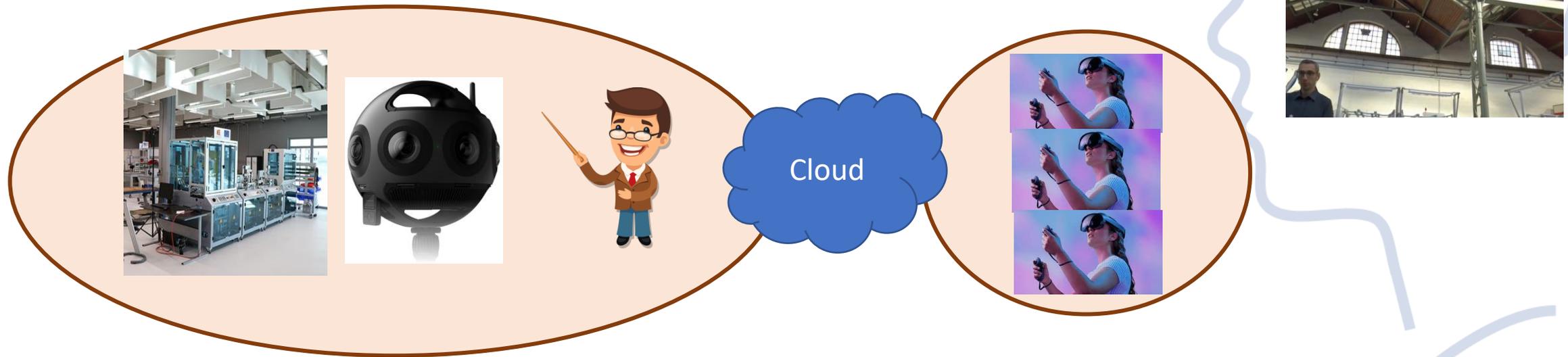


# 3. Interactions

## Comment les apprenants vont interagir avec les jumeaux numériques :

Cas présentiel avec équipements physiques et apprenants en distanciels ?

Live streaming 360° / HOLOGRAMME 3D par IA

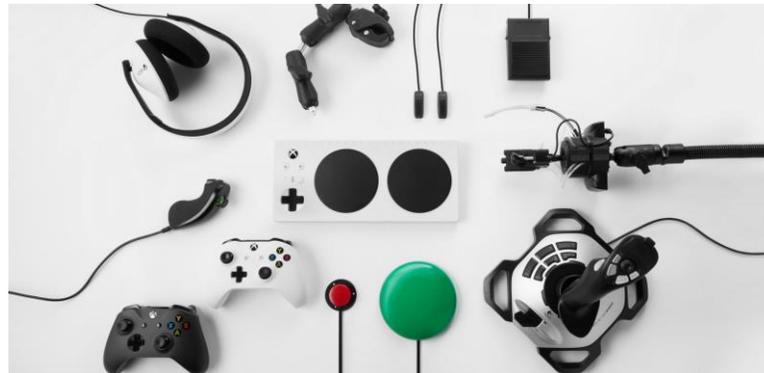


# 3. Interactions



## Peut on rendre accessible à tous les jumeaux numériques?

- L'accessibilité, c'est permettre aux personnes handicapées de jouir pleinement de leurs droits et de leurs libertés fondamentales en levant les barrières qu'elles peuvent rencontrer.
- L'accessibilité numérique s'inscrit dans cette démarche d'égalité et constitue un enjeu politique et social essentiel afin de garantir à tous, sans discrimination, le même accès à l'information, la formation et aux services en ligne.



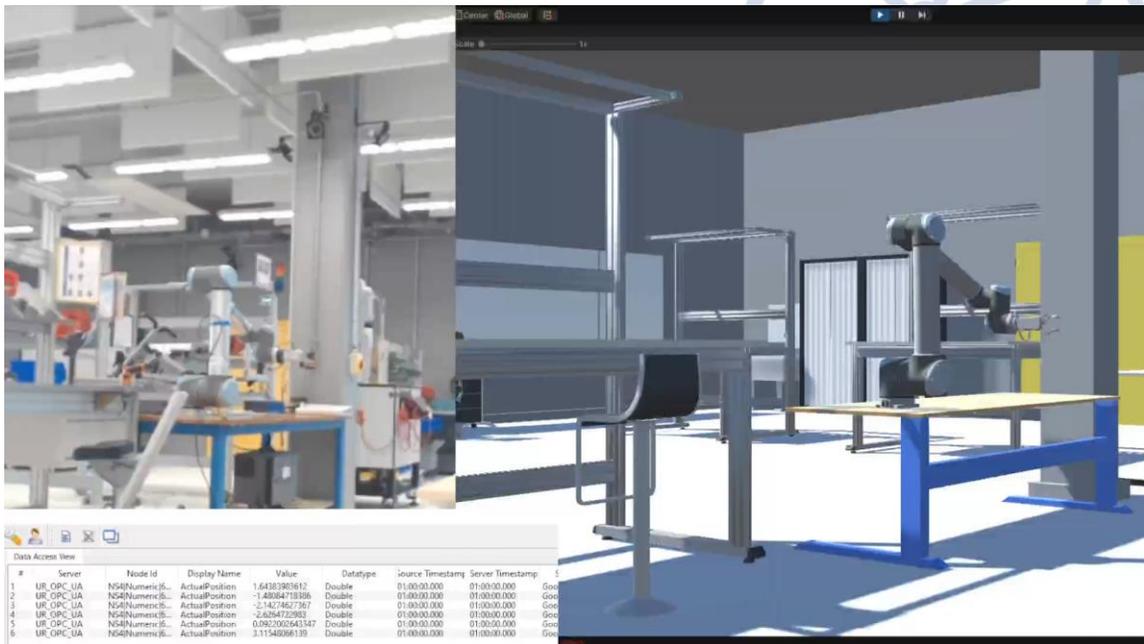
# 4. Connectivite et interoperabilite

## Comment connecter les jumeaux numerique et physiques ?

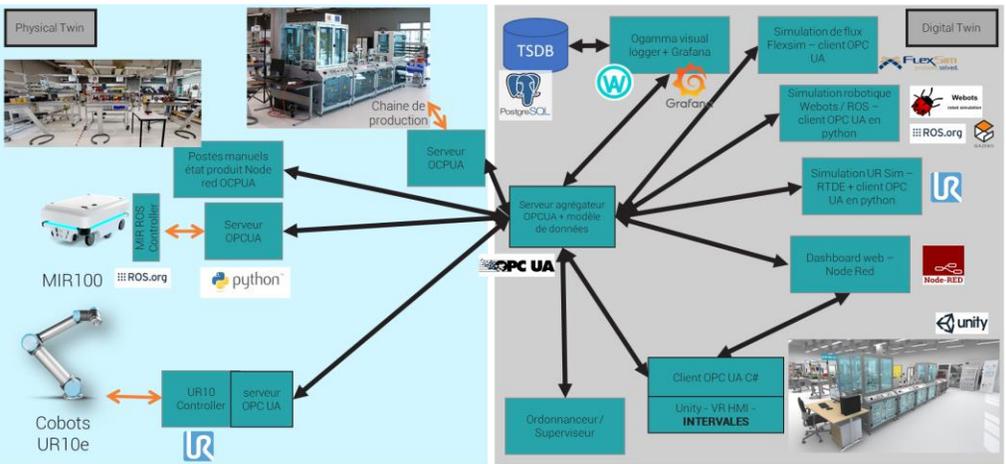
### Standards IOT : OPCUA

Jumeau physique

Jumeau Numerique (Unity)



#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	Source Timestamp	Server Timestamp
1	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	1.643832617	Double	01:00:00.000	01:00:00.000
2	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	-1.4808471596	Double	01:00:00.000	01:00:00.000
3	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	-2.14274527367	Double	01:00:00.000	01:00:00.000
4	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	-2.629472593	Double	01:00:00.000	01:00:00.000
5	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	0.062200545347	Double	01:00:00.000	01:00:00.000
6	UR OPC-UA	N548Numerics...	ActualPosition	3.11548086139	Double	01:00:00.000	01:00:00.000





Innoactive®

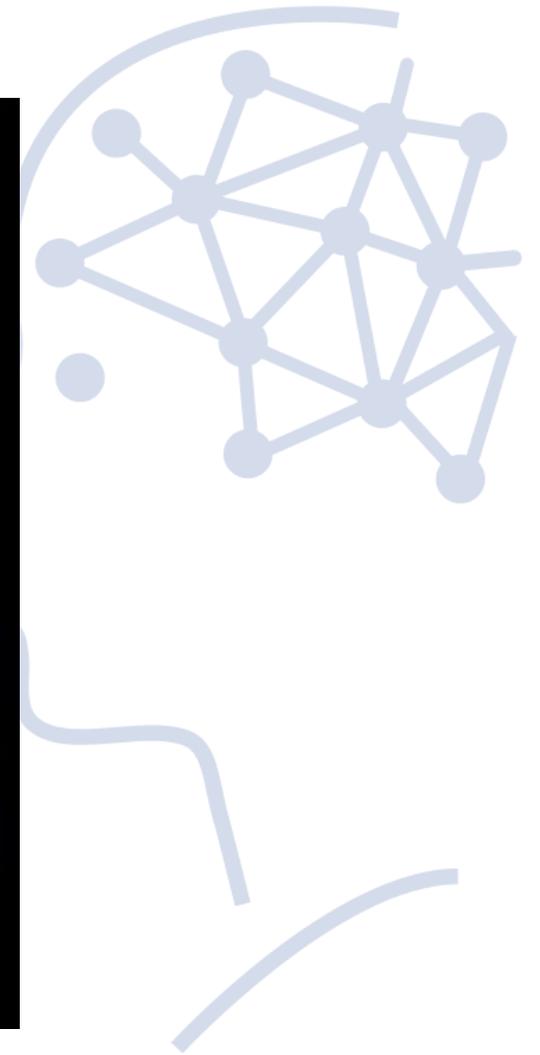
uptale.

....

# Un exemple concret de JN



- La plateforme VULCAIN - forge de Metz





Questions ?



Arts et Métiers Sciences et Technologies



CESI ÉCOLE D'INGÉNIEURS

le cnam



@jenii\_ensam



UNIVERSITÉ NEOMA BUSINESS SCHOOL REIMS - ROUEN - PARIS ENSci LES ATELIERS