



# Optimisez vos performances industrielles grâce aux jumeaux numériques à base d'IA et d'IIOT

Webinaire DIHNAMIC -11 décembre 2024

Matthieu Gatine – Ingénieur IIoT - CETIM

# Le CETIM

Adapter l'industrie mécanicienne aux défis écologiques et économiques

- En renforçant la maîtrise des fondamentaux
- En assimilant et consolidant les potentiels issus de la révolution numérique
- En intégrant les enjeux et évolutions découlant de la transition énergétique et environnementale

**180 M€**

De chiffre d'affaires

**1 100**

Salariés

**70%**

d'ingénieurs, de docteurs et de techniciens



# Monitoring, contrôle et Objets connectés

- **Contrôle Non Destructif**
  - Recherche et qualification de défauts, caractérisation non destructive des matériaux
  - Développement de méthodes/équipements de contrôle
  - Formation CND et certification COFREND
- **Diagnostic d'installations industrielles**
  - Maintien en conditions opérationnelles
  - Requalification par EA
- **Surveillance des équipements et des composants**
  - Surveillance des équipements / machines tournantes
  - Monitoring des procédés de fabrication
  - SHM



# Sommaire

**1. Enjeux et concepts**

**2. Architecture et technologies**

**3. Cas d'usages**

**4. Transformation numérique et PoC/PoV**



# Introduction

Enjeux et concepts

# Enjeux

Performance, impact environnemental et compétitivité

Les industriels font face à de nombreux enjeux comme :

- Optimiser ses processus
  - Gagner en productivité, réduire les coûts et améliorer la qualité des produits
- Diminuer la consommation énergétique
  - Maîtriser les dépenses tout en répondant aux exigences environnementales croissantes
- Limiter les arrêts de maintenance
  - Assurer la continuité des opérations et éviter des pertes financières imprévues

Comment les technologies telles que **l'IloT, les jumeaux numériques et l'intelligence artificielle** peuvent offrir des solutions pour relever ces défis ?

# IloT

## Récupérer et mettre à disposition des données industrielles

L'IloT, ou Internet industriel des objets désigne l'intégration des objets connectés dans le secteur industriel. Ces objets, comme des capteurs ou des machines, sont interconnectés via des réseaux pour échanger des données.

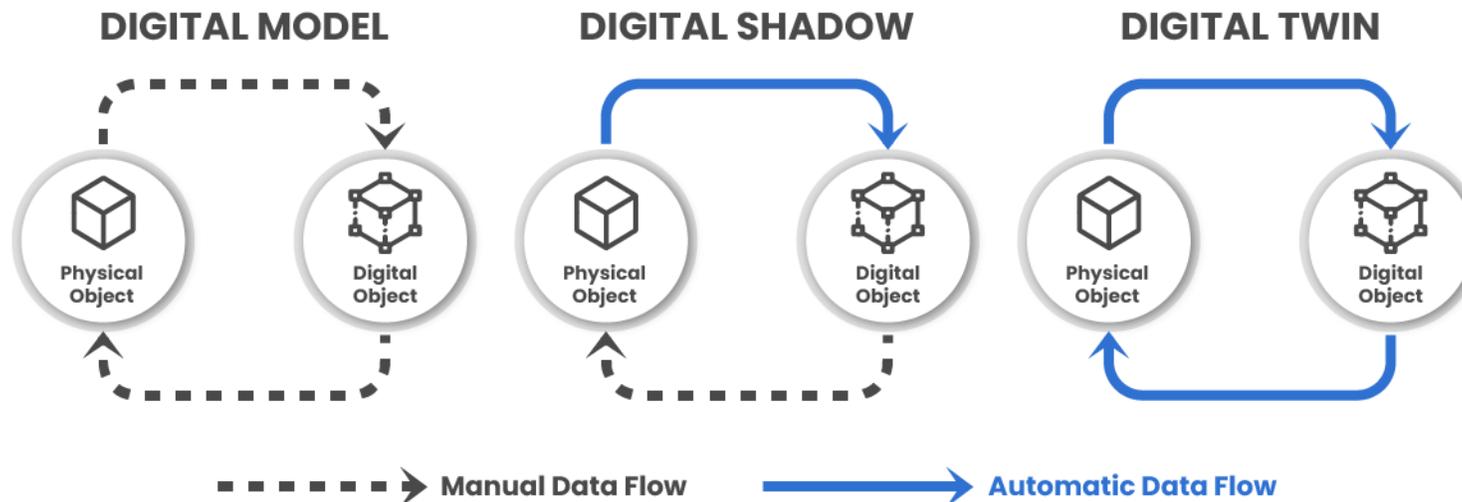
Ici, le terme "Internet" fait référence à l'interconnexion des réseaux, permettant une communication fluide entre les équipements, qu'ils soient sur un même site ou à distance.

L'IloT vise à optimiser les opérations industrielles, améliorer la maintenance et accroître la productivité grâce à une mise à disposition des informations.

# Jumeau numérique

## Exploitation des données d'un équipement

Un **jumeau numérique** comporte un ensemble d'informations numériques pouvant **décrire** complètement le **jumeau physique** réel ou en développement. Le jumeau numérique doit être **alimenté par un flux de donnée** collectée de l'objet physique de **manière automatique** pouvant ainsi **simuler** et **prédire** le comportement de ce dernier.



# Intelligence artificielle

Détecter, classifier, prédire, ...

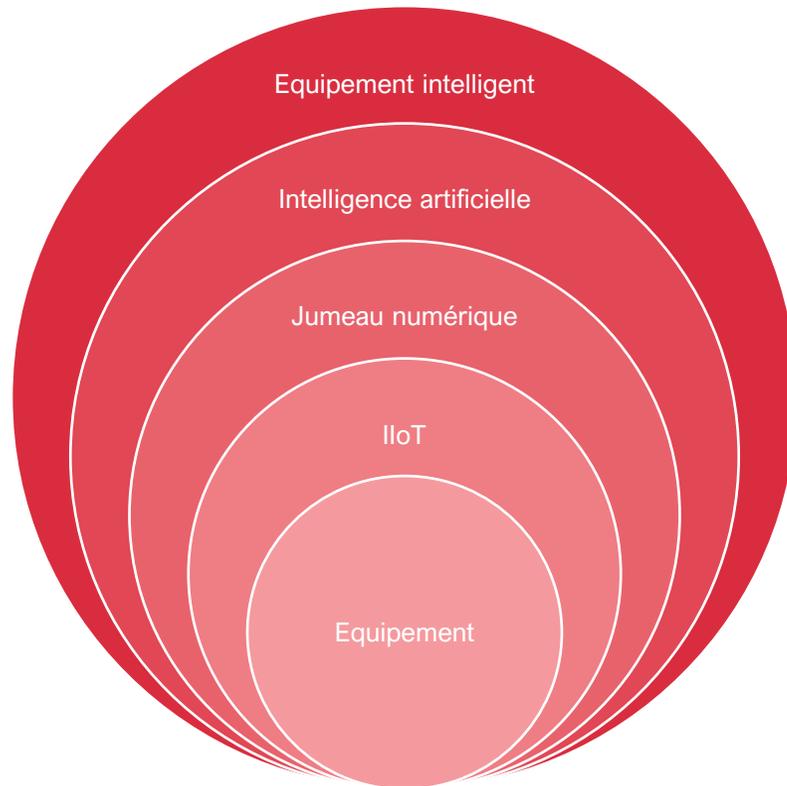
L'intelligence artificielle (IA) dans l'industrie consiste à utiliser des algorithmes pour **analyser des données** et **automatiser certaines tâches complexes**.

Elle se divise en plusieurs catégories, tel que la **classification** (tri des données en groupes), la **régression** (prédiction de valeurs continues) ou encore les **systems décisionnels**.

Ces approches permettent de **traiter efficacement des informations** pour **optimiser les processus** et **améliorer les performances**.

# Pour résumer

## D'un équipement à un équipement intelligent



La combinaison de l'IloT, d'un jumeau numérique et de l'intelligence artificielle permet de :

- Visualiser en temps réel des informations
- Détecter, classifier et prédire des événements
- Alerter un opérateur, un technicien,...
- Apprendre en continu
- S'adapter pour corriger un problème

Ces différents points correspondent au niveau d'évolution d'un jumeau numérique.

2

# Architecture et technologies

Démonstrateur JNEM

# Jumeau Numérique d'Équipement Mécanique

## Démonstrateur au CETIM sur le site de Nantes

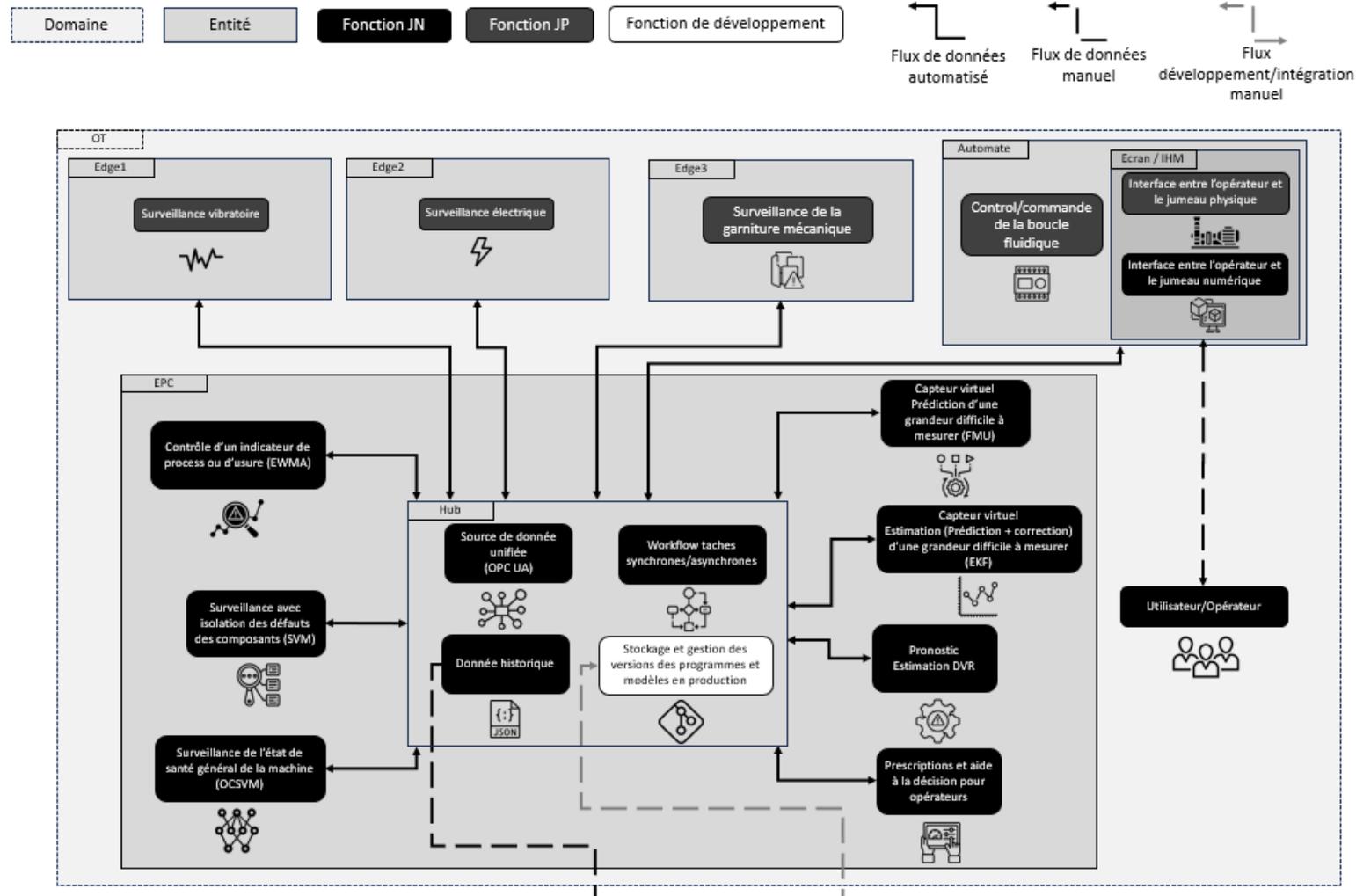
JNEM est un démonstrateur de jumeau numérique d'une boucle fluide composé d'une pompe centrifuge, d'un groupe froid, d'une vanne de régulation et d'éléments permettant de générer des défauts (vannes, collier chauffant,...).



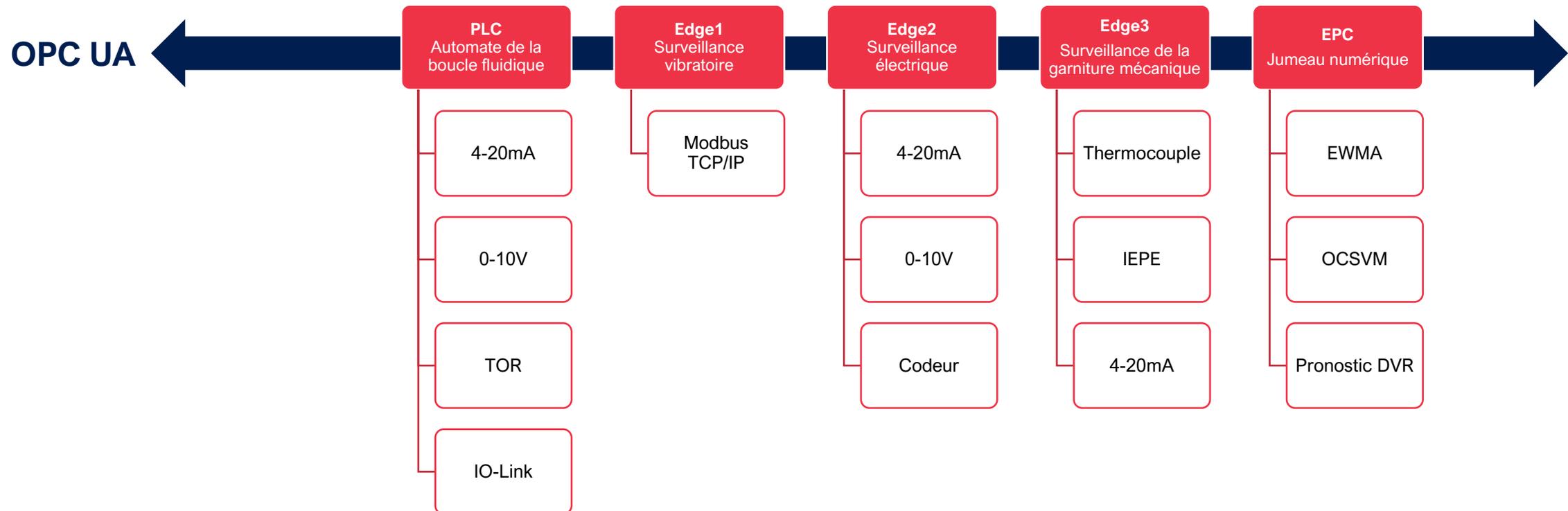
# Instrumentation et Edge computing

- Un système de surveillance vibratoire pour la pompe (Edge1)
- Un système de surveillance électrique de la pompe (Edge 2)
- Un système de surveillance de la garniture mécanique de la pompe (Edge 3)
- Un automate de contrôle/commande de la boucle fluide et l'IHM (PLC)
- Un système comme hub pour les autres systèmes et les fonctionnalités du jumeau numérique (EPC)

Les données sont converties en informations au plus près de leurs sources (edge computing) pour limiter la quantité de données transmises et pour effectuer du calcul en temps réels.



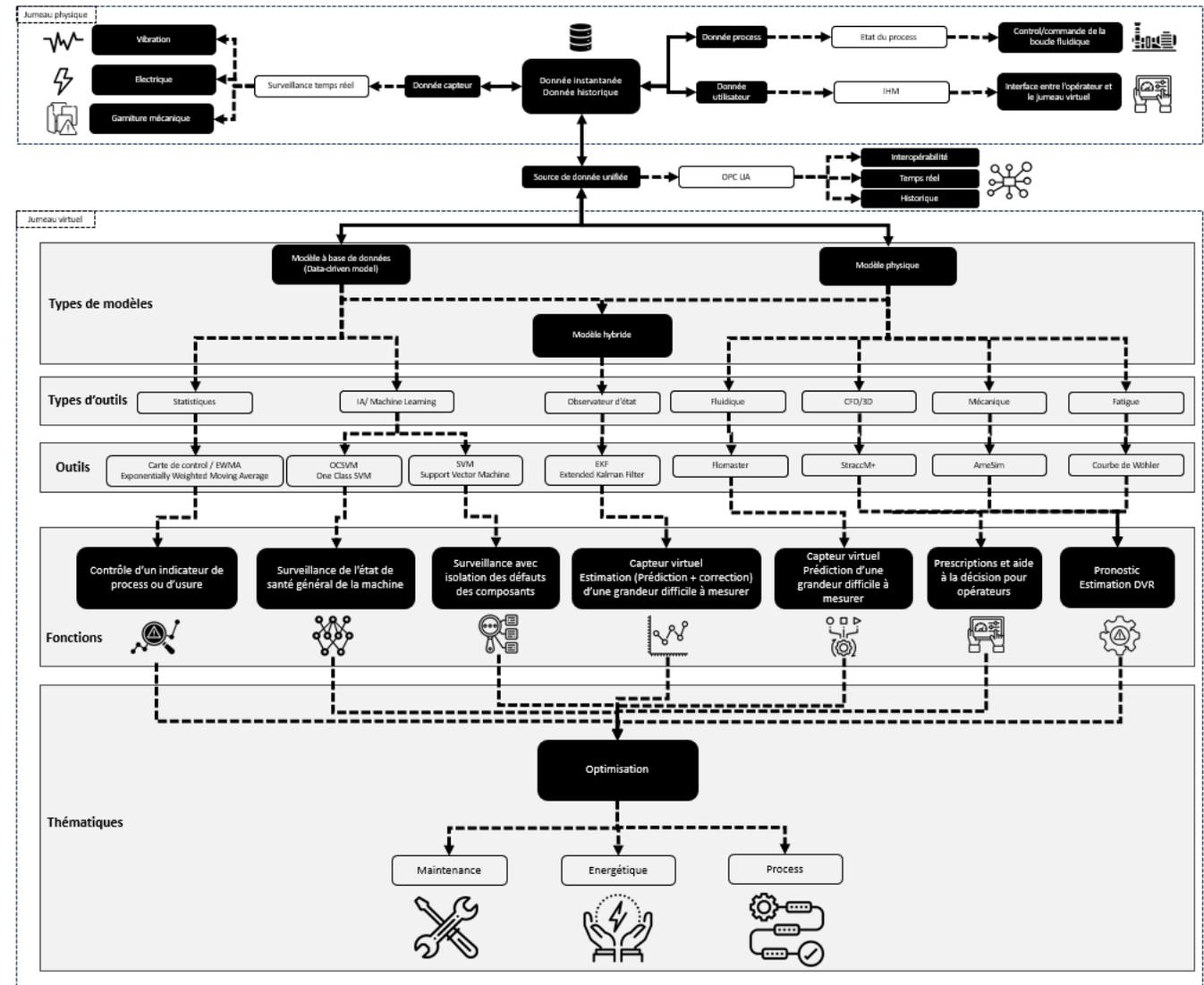
# Standard et interopérabilité



La mise en place d'un jumeau numérique nécessite la collecte d'un grand nombre de données provenant de sources différentes. Le standard d'échange de données OPC UA permet de standardiser les données et ainsi rendre les systèmes interopérables.

# Architecture de JNEM

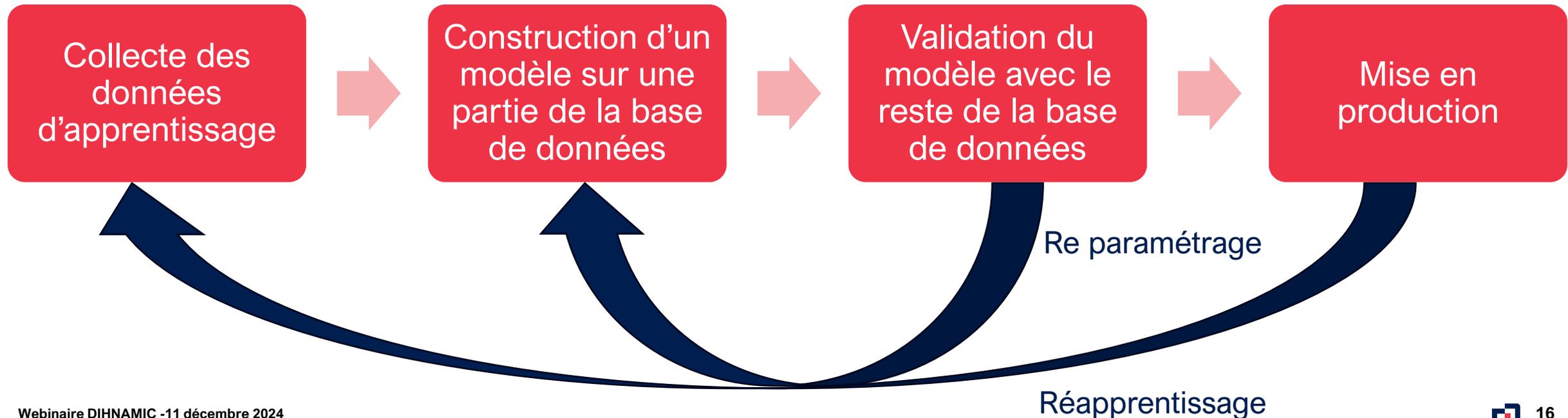
- Le jumeau physique
  - Les systèmes Edges
  - Le système de contrôle/commande et l'interface homme/machine
- Une centralisation des données (serveur OPC UA)
- Le jumeau virtuel
  - Les modèles à base de données
    - EWMA, OCSVM et SVM
  - Les modèles physiques
    - CFD/3D
    - Mécanique
    - Fatigue
  - Les modèles hybrides (à base de données et physique)
    - Extended Kalman Filter



# Construction et mise en production des modèles numériques

Pour mettre en production, il faut pour chaque application développer un programme qui va prendre en entrée les données provenant des capteurs, de l'automate,... et utiliser le modèle pour fournir une information supplémentaire (alerte, classification, ...).

C'est la combinaison d'un **modèle numérique** et de son **programme en production** que l'on appelle « **intelligence artificielle** ».



# Pour résumer

D'un équipement connecté à un équipement intelligent

Un équipement connecté doit permettre de :

- Connecter
- Collecter
- Stocker
- Analyser
- Visualiser

À partir de cette base, il est possible de réaliser **des fonctionnalités avancées** à base **d'intelligence artificielle** et **de la simulation** pour :

- Classifier
- Prédire
- Alerter
- ...

3

# Cas d'usages

Démonstrateur JNEM

# Scénario 01

## Surveillance et contrôle du process

**Objectif :** Informer l'opérateur de l'apparition d'un défaut

**Méthodologie :**



**Type de modèle :**



# Scénario 01

## Surveillance et contrôle du process

### Equipements surveillés :

- Palier pompe
- Garniture mécanique
- Refoulement pompe
- Boucle fluidique
- Groupe moto-pompe

### Défauts :

- Process
  - Colmatage échangeur thermique
  - Variation de process
  - Fuite garniture mécanique
- Pompe
  - Balourd
  - Cavitation

The screenshot displays the operator interface for 'Banc JNEM - Mode manuel'. At the top, there are control buttons: 'MARCHÉ' (green), 'MANU' (blue), and 'ENREGISTRER' (grey). A red banner indicates 'Supervision des modèles de défaillances'. The main area is divided into three columns: 'Modèle de défaillance', 'Pompe', and 'Process'. Each column contains monitoring cards with green status indicators and '0%' values. The 'Pompe' column includes cards for 'Cartes de contrôle' (Méthode EWMA), 'Détection de déviations de l'état normal' (Méthode de classification one class OCSVM), and 'Identification des défauts' (Méthode de classification supervisée SVM). The 'Process' column includes cards for 'Surveillance process' and 'normal'. The bottom of the interface features the 'cetim' logo, registration details (Nom fichier: Colmatage2, Fréquence: 0.2), navigation arrows, a graph icon, and a red 'ARRÊT' button.

Interface pour l'opérateur

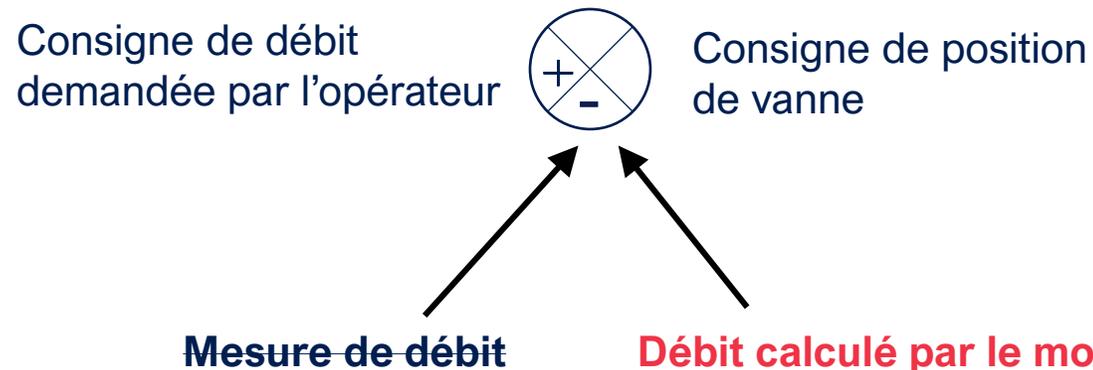
# Scénario 02

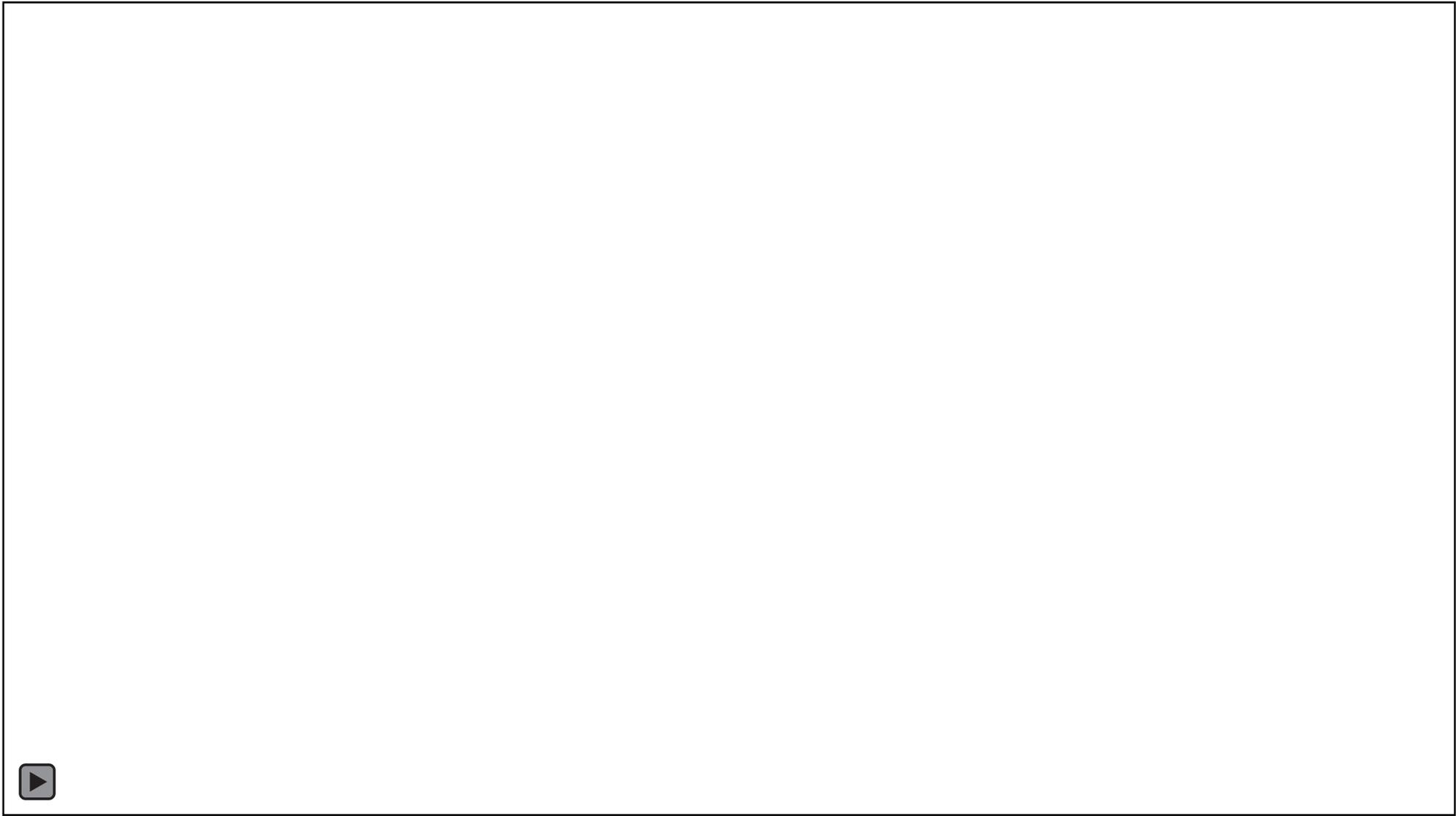
## Mise en place d'un capteur virtuel de débit

**Objectif :** Substituer un capteur en cas de panne ou pour estimer une grandeur difficilement mesurable ou plus généralement pour réduire le coût de l'instrumentation.

**Méthodologie :** Mesurer les grandeurs comme la vitesse de la pompe et le delta de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe pour ensuite estimer le débit.

**Type de modèle :** Le filtre de Kalman étendu



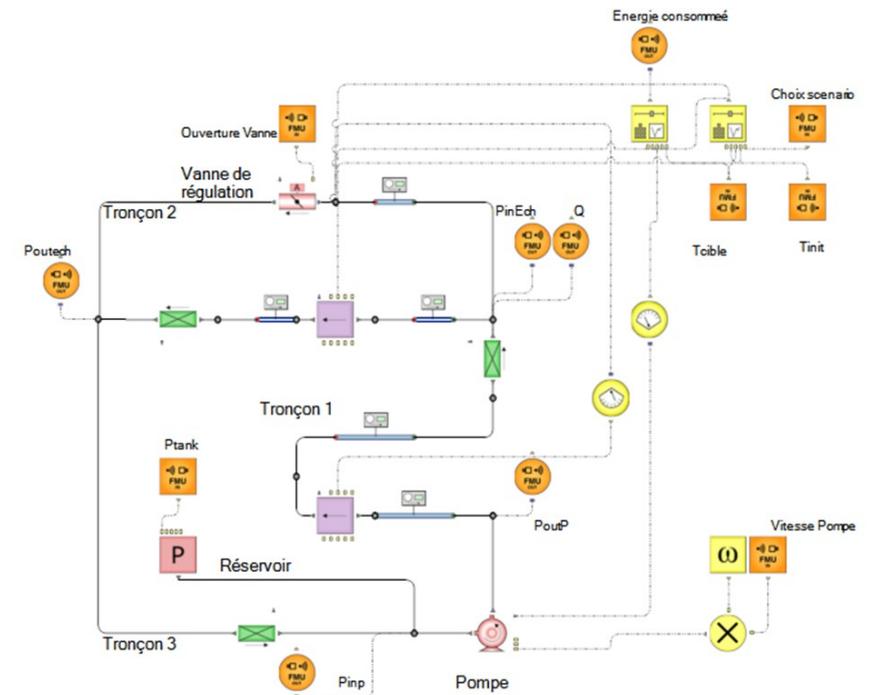


# Scénario 03

## Aide à la décision pour réduction de la consommation énergétique

**Objectif :** Proposer à l'opérateur via l'IHM un tableau de bord d'indicateurs permettant sa prise de décision concernant la consommation énergétique de la boucle process. L'IHM propose trois scénarios et expose dans le tableau de bord leur consommation énergétique et leur durée.

**Méthodologie :** Utilisation d'un modèle 1D fluide et d'une phase de collecte de données expérimentales pour le calibrage du modèle.



Modèle 1D fluide

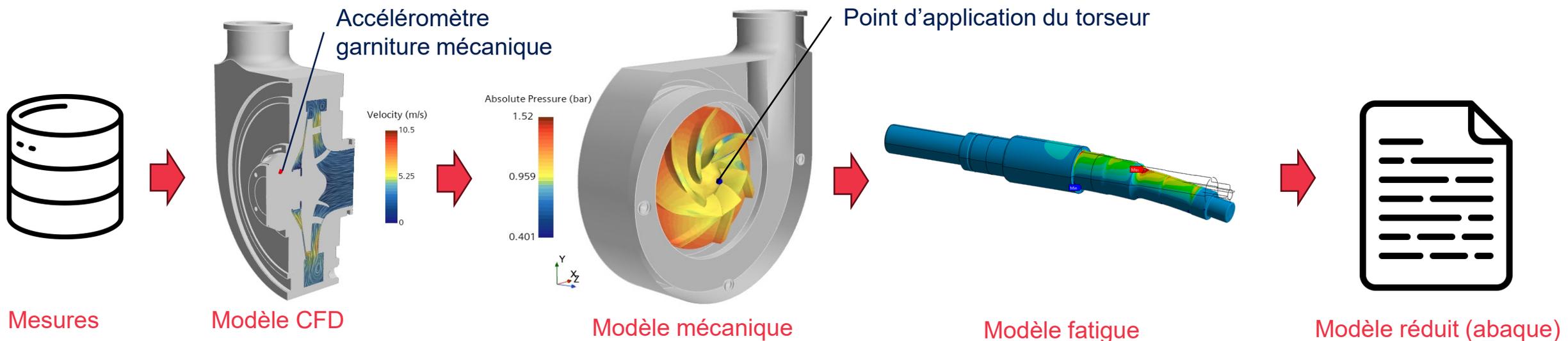


# Scénario 04

## Pronostic et calcul de la durée de vie résiduelle

**Objectif :** Fournir aux opérateurs un outil d'aide de prise décision pour l'optimisation de la durée de vie d'un composant critique (arbre moteur)

**Méthodologie :** Utilisation de l'amplitude 1X mesuré au niveau de la garniture mécanique afin de remonter au balourd hydraulique et ainsi estimé des contraintes sur des points critiques de l'arbre moteur pour le calcul de la DVR



# Scénario 04

## Pronostic et calcul de la durée de vie résiduelle

Interface homme/jumeau numérique permettant de **simuler** différents scénarii, afficher l'**endommagement** de l'arbre et des **prescriptions** pour l'utilisateur.



4

# Conclusion

Transformation numérique et  
PoC/PoV

# Transformation numérique

## Extraire et valoriser ses données

En combinant l'IloT, les jumeaux numériques et l'intelligence artificielle, les entreprises industrielles peuvent transformer leur manière de gérer et d'utiliser leurs équipements aussi appelés **transformation numérique**.

Ces technologies permettent **une visibilité en temps réel, une prédiction précise des performances et une optimisation continue des processus**.

En intégrant ces outils, il est possible **maximiser la productivité, réduire les coûts opérationnels et prolonger la durée de vie des équipements**, tout en répondant aux **exigences environnementales et aux défis de compétitivité**.

Pour plus d'informations sur les travaux réalisés par le CETIM sur les sujets de l'IloT, du jumeau numérique et de l'intelligence artificielle, vous pouvez vous rendre sur le site <https://pttiot.cetim.fr/iiot.html>.

# Par où commencer ?

## Un PoC/PoV pour limiter les risques

Une preuve de concept (abrégé « PoC » en anglais) ou preuve de valeur (abrégé «PoV» en anglais) permet **d'initier une transformation numérique** par **un cas concret** tout en limitant les risques (financier, techniques...).

La première étape consiste à transformer un équipement en équipement connecté. La seconde étape est de collecter pendant une certaine durée des données représentatives du fonctionnement de l'équipement. Enfin, à partir de ces données, il est possible de développer des algorithmes d'IA et de les mettre en production via un jumeau numérique et ainsi rendre l'équipement intelligent.

L'utilisation d'un **kit de développement IIoT** permet de réaliser un PoC/PoV **à côté de l'équipement** tout en étant **autonome, sécurisé, prêt à l'emploi et modulaire**.





Merci pour attention, si vous avez des questions n'hésitez pas !

Pour un futur industriel  
responsable et respectueux  
de la planète