



## Internet Industriel des Objets

LR

IUT de Béziers

# Programme de l'exposé

## 1 Présentation de l'IloT

- Industrie 4.0
- Schémas d'Architecture Réseau

## 2 Infrastructures réseaux IloT

- Présentation des réseaux IloT
- Edge Computing
- Cloud Computing

## 3 Protocoles pour l'IoT

## 4 maintenance prédictive avec l'IloT

- Fonctionnement de la maintenance prédictive avec l'IloT
- analyse vibratoire
- encrassement
- humidité

# Industrie 4.0

## Les révolutions industrielles au cours de l'Histoire

- Industrie 1.0 : L'industrie mécanisée (env. XIXe siècle)
- Industrie 2.0 : L'industrialisation de masse / fordisme (début du XXe siècle)
- Industrie 3.0 : L'industrie automatisée (env. 1970)
- Industrie 4.0 : L'industrie connectée (env. 2015)

## Les révolutions industrielles au cours de l'Histoire

- Industrie 1.0 : L'industrie mécanisée (env. XIXe siècle)
- Industrie 2.0 : L'industrialisation de masse / fordisme (début du XXe siècle)
- Industrie 3.0 : L'industrie automatisée (env. 1970)
- Industrie 4.0 : L'industrie connectée (env. 2015)

## Industrie 4.0

L'industrie 4.0 est dite « connectée » : transmet des données vers un « cloud » à des fins :

- de suivi en temps réel de la production, et de **maintenance prédictive**,
- d'**optimisation** et d'adaptation du processus de fabrication.
- de suivi des consommations et de **réduction des coûts énergétiques**,
- de surveillance et de **tracabilité des produits**,

L' **IIoT** (*Industrial Internet of Things*) et l'**Intelligence Artificielle** jouent un rôle clef dans cette révolution de l'industrie.

## Remarque

L'industrie automatisée classique utilise des données pour mener à bien la production, mais les capteurs et les systèmes qui la composent génèrent des données qui ne sont pas ou peu exploitées durant la production.

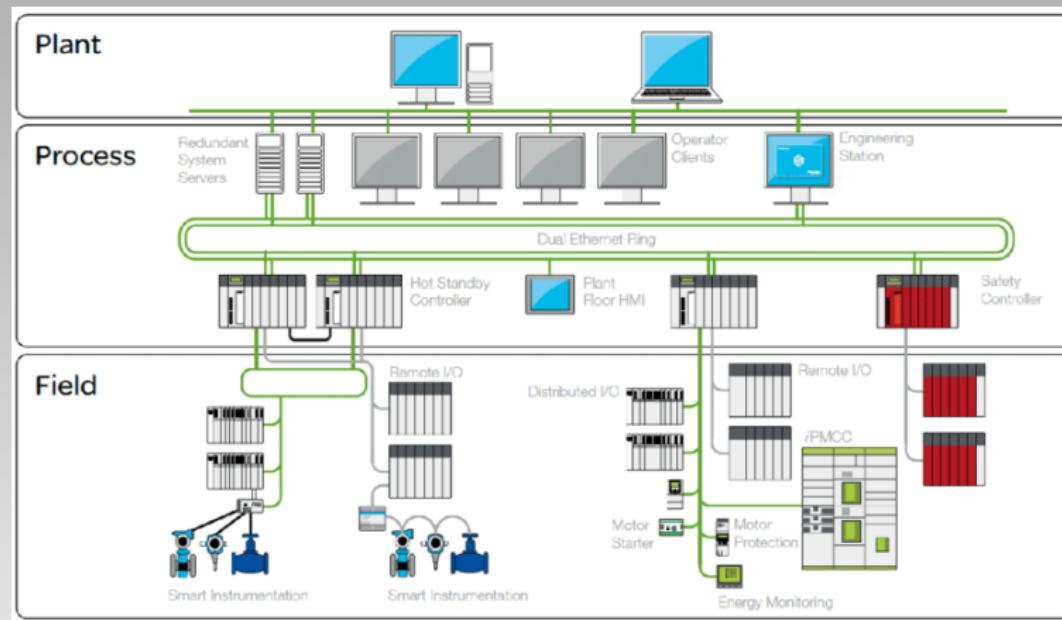
L'idée de l'internet des objets industriels – l'IoT (Industrial Internet of Things) est aussi de collecter et d'analyser ces données "dormantes".

Pour résumer les données "IoT" proviennent de deux sources :

- ① Un réseau de capteurs dédié à l'IoT qui est rajouté sur l'outil de production, et qui ne sert qu'aux objectifs énoncés précédemment,  
⇒ protocoles et matériels dédiés à l'IoT
- ② Une ponction des données issues des capteurs, actionneurs ou automates du système automatisé de production.  
⇒ précautions en termes de cybersécurité

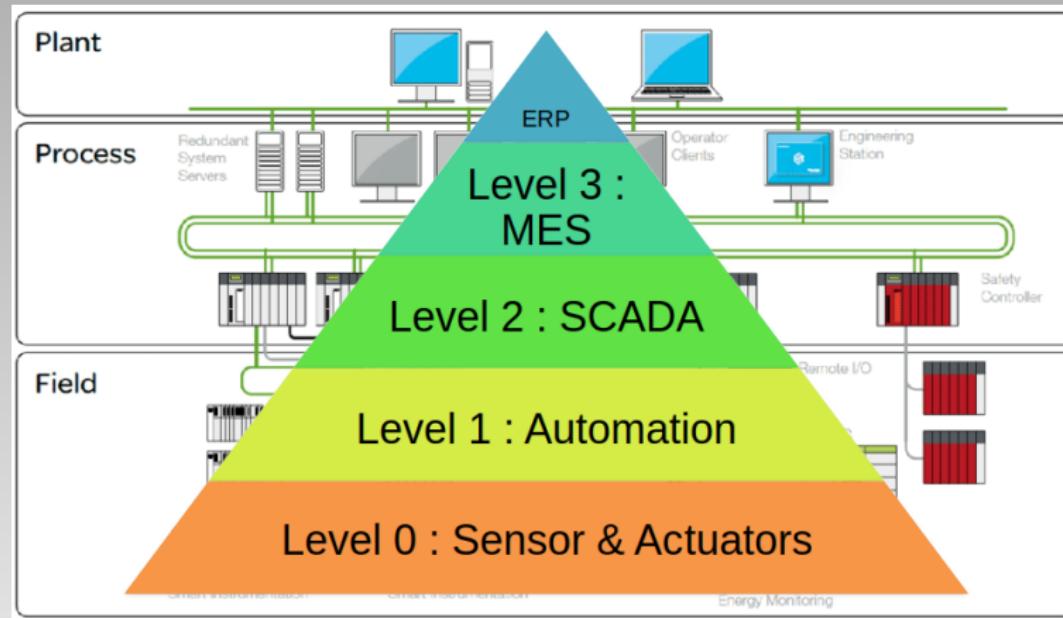
Architecture réseau et Pyramide CIM

La pyramide **CIM** (pour *Computer Integrated Manufacturing*) est un modèle des années 80 et qui divise les réseaux d'une entreprise en plusieurs couches



# Architecture réseau et Pyramide CIM

La pyramide **CIM** (pour *Computer Integrated Manufacturing*) est un modèle des années 80 et qui divise les réseaux d'une entreprise en plusieurs couches



# Architecture réseau et Pyramide CIM

## Les différents niveaux du réseau selon le modèle CIM

- Niveau 0 : Les **capteurs et les actionneurs**,

# Architecture réseau et Pyramide CIM

## Les différents niveaux du réseau selon le modèle CIM

- *Niveau 1 : Les **automates**, qui contrôlent le comportement des machines et agissent grâce aux actionneurs sur le procédé, en fonction des informations reçues par les capteurs,*
- *Niveau 0 : Les **capteurs et les actionneurs**,*

# Architecture réseau et Pyramide CIM

## Les différents niveaux du réseau selon le modèle CIM

- Niveau 2 : La **supervision** (en anglais SCADA, signifiant *Supervisory Control And Data Acquisition*), qui est utilisée par l'opérateur pour piloter le procédé, en envoyant des consignes aux automates,
- Niveau 1 : Les **automates**, qui contrôlent le comportement des machines et agissent grâce aux actionneurs sur le procédé, en fonction des informations reçues par les capteurs,
- Niveau 0 : Les **capteurs et les actionneurs**,

# Architecture réseau et Pyramide CIM

## Les différents niveaux du réseau selon le modèle CIM

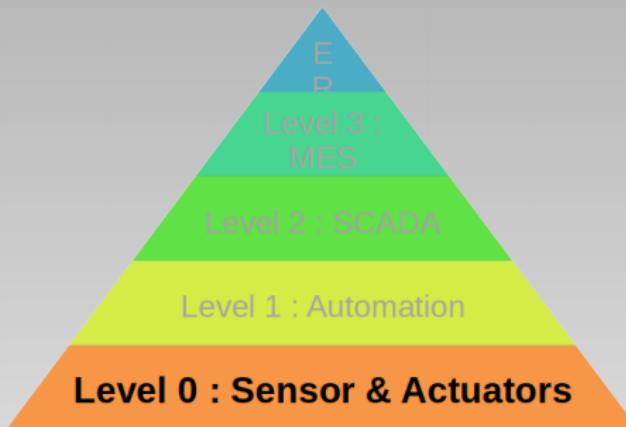
- **Niveau 3** : Le **MES** (pour *Manufacturing Execution System*), qui gère la fabrication à l'échelle d'un atelier, et assure le lancement, le suivi et l'arrêt de la production.
- **Niveau 2** : La **supervision** (en anglais SCADA, signifiant *Supervisory Control And Data Acquisition*), qui est utilisée par l'opérateur pour piloter le procédé, en envoyant des consignes aux automates,
- **Niveau 1** : Les **automates**, qui contrôlent le comportement des machines et agissent grâce aux actionneurs sur le procédé, en fonction des informations reçues par les capteurs,
- **Niveau 0** : Les **capteurs et les actionneurs**,

# Architecture réseau et Pyramide CIM

## Les différents niveaux du réseau selon le modèle CIM

- **Niveau 4 : L' ERP** (pour *Entreprise Ressource Planning*), qui gère la fabrication à l'échelle d'une Entreprise, et notamment la gestion des commandes, de la relation avec les fournisseurs...)
- **Niveau 3 : Le MES** (pour *Manufacturing Execution System*), qui gère la fabrication à l'échelle d'un atelier, et assure le lancement, le suivi et l'arrêt de la production.
- **Niveau 2 : La supervision** (en anglais SCADA, signifiant *Supervisory Control And Data Acquisition*), qui est utilisée par l'opérateur pour piloter le procédé, en envoyant des consignes aux automates,
- **Niveau 1 : Les automates**, qui contrôlent le comportement des machines et agissent grâce aux actionneurs sur le procédé, en fonction des informations reçues par les capteurs,
- **Niveau 0 : Les capteurs et les actionneurs**,

# Niveau 0 : Capteurs et Actionneurs



# Niveau 0 : Capteurs et Actionneurs

## Réseaux de terrain

**HART** COMMUNICATION PROTOCOL

signaux parasites

signaux parasites

PIN

**IO-Link**

Hauteur de remplissage

0.000 m

3.07  
14029032  
OK

VEGAPULS 61  
Capteur radar pour la mesure de niveau continu de liquides avec interface 4...20 mA/HART  
Sensor

22/11/2018 15:44:51

dB

Distance: 0,888 m  
Pourcentage: 13,94 %

Courbe échos  
Élimination des signaux parasites

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 m

Nom du fichier: 14029032\_EchoRecord.crd (Temporaire)

Garder les courbes

Action à exécuter: Actualiser

Distance sondée: 0,00 m

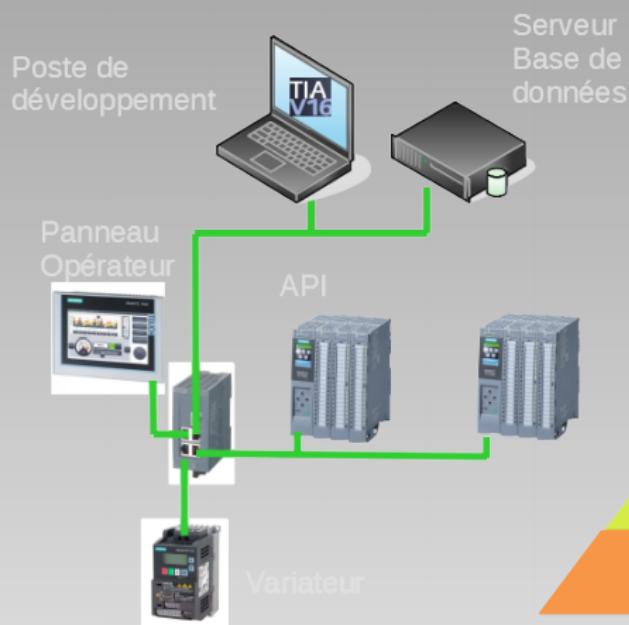
Éxecuter

PACTware™

Catalogue d'appareils

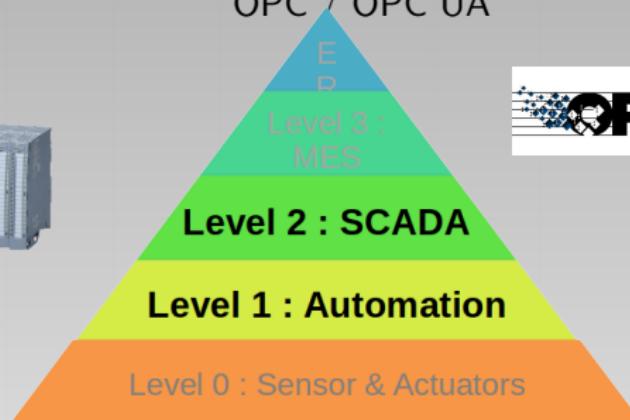
Diagramme de mesure de niveau continu avec courbes pour les échos et l'élimination des parasites.

# Niveau 1 : Automates

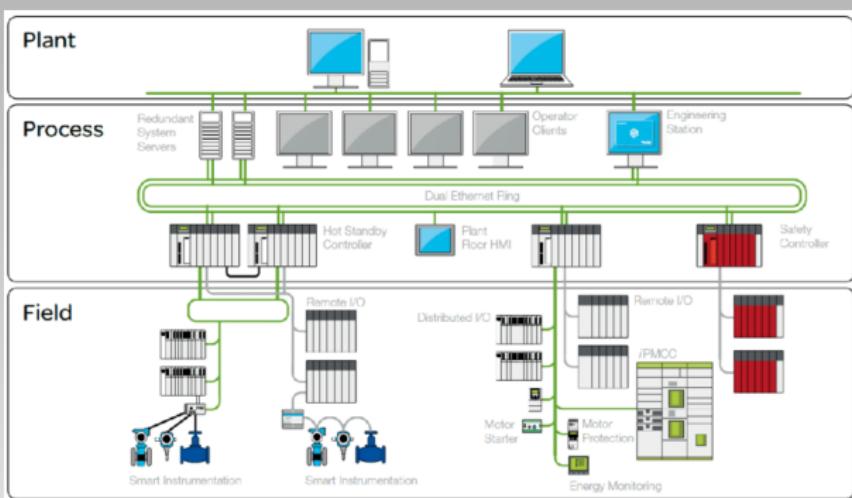


## Réseaux d'automatismes

Profinet,  
Modbus TCP,  
Ethernet IP  
OPC / OPC UA



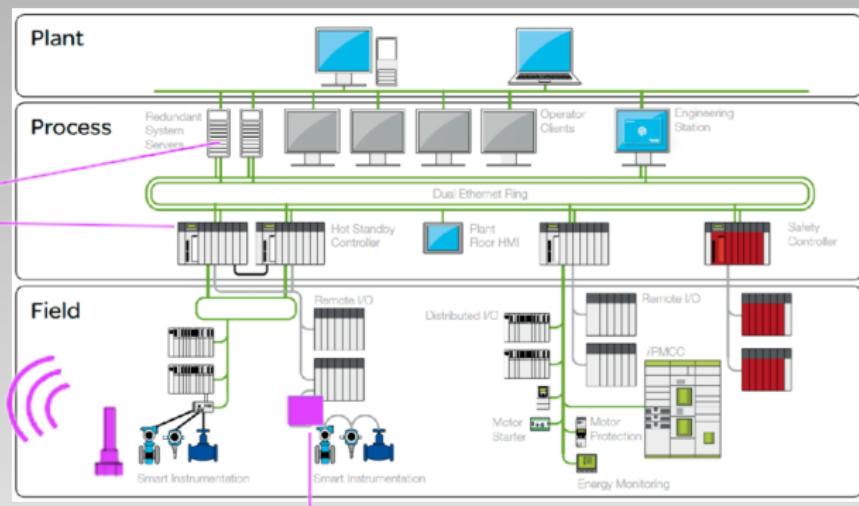
# Industrie 4.0



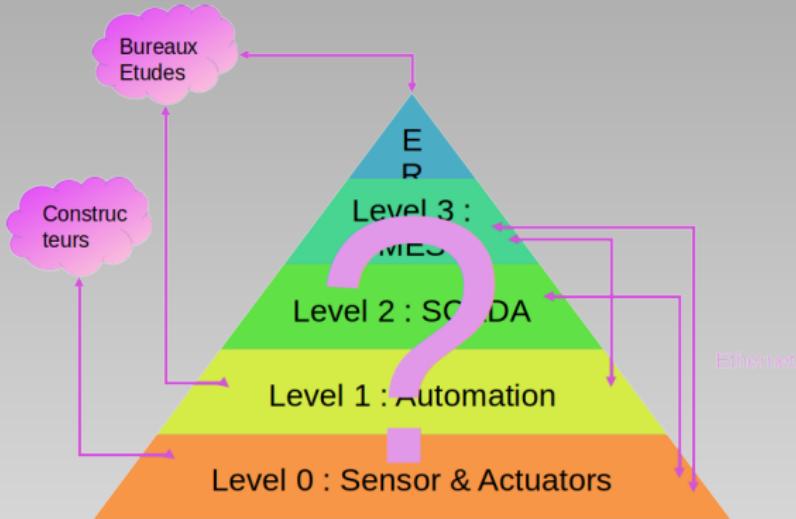
## Alertes, Notifications



LoRa



# Industrie 4.0

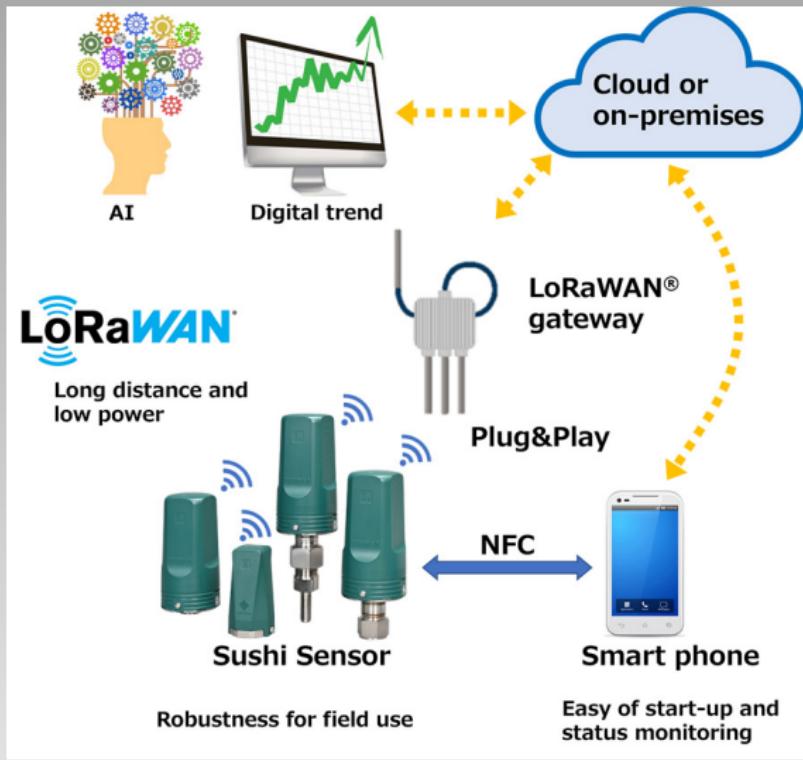


# réseau IloT pour la maintenance prédictive

Les réseaux IloT sont composés de

- **Capteurs** : Pression, débit, température, vibrations, suivant application.
- **Passerelles IoT (Gateways)** : Les passerelles IoT assurent la connexion entre les capteurs et le réseau central, où les données sont analysées. Elles collectent les données des capteurs et les transmettent vers un serveur ou dans le cloud.
- **Dispositifs "Edge"** : l'Edge computing est une informatique qui a lieu proche de l'emplacement physique de l'utilisateur ou de la source des données, ce qui entraîne une latence plus faible et économise la bande passante. Ce sont aussi les dispositifs "Edge" qui sont chargés de prélever les données dans le système automatisé de production (source 2).
- **Systèmes de stockage et d'analyse des données** : Les données collectées sont stockées dans des bases de données, souvent dans le cloud ou sur des serveurs dédiés. L'analyse se fait à l'aide d'outils d'analyse de données (Big Data) et d'intelligence artificielle (IA) pour modéliser et prédire les défaillances possibles.

# Solution "Sushi" de Yokogawa



# Exemple de dispositifs "Edge" (Siemens)



Figure –

# Exemple de dispositif "Edge" : Simatic IoT2050

Caractéristiques principales :

- Type de tension d'alimentation : 12/24 V CC
- Processeur : ARM TI AM6528 GP
- Mémoire vive : DDR4 1Go
- Entrées/Sorties GPIO : 20E/S, 3.3/5V ( I/O Module 24VDC (5DI, 2DQ, 2AI) disponible en option)
- 1 port COM (série), 2 ports USB 2.0, 2 ports Gigabits Ethernet
- Protocoles industriels supportés : Profibus, Profinet, Industrial Ethernet



# Exemple de dispositif "Edge" : Simatic SIMATIC-IPC-BX-59A

Caractéristiques principales :

- 13th Gen Intel® Core™ processors (R680E chipset)
- interchangeable NVME SSDs in SIMATIC IPC M.2 sliders, RAID 1 and RAID 5 solutions, expandable DDR5 SO-DIMM RAM modules (8 – 64 GB) and two M.2 Flex modules are available.
- 5 PCI/PCIe interfaces for additional communication cards, frame grabbers and PoE cards are available
- Windows 10 2021 LTSC (Long Term Servicing Channel) 64-bit
- Temperature : without fan : 40°C , with fan : 55°C, humidity : up to 85%, résistance aux chocs et aux vibrations.
- Protocoles industriels supportés : Profibus,



# Cloud Computing

Les constructeurs d'automates ou de capteurs proposent quasiment tous des clouds adaptés au traitement des données industrielles.

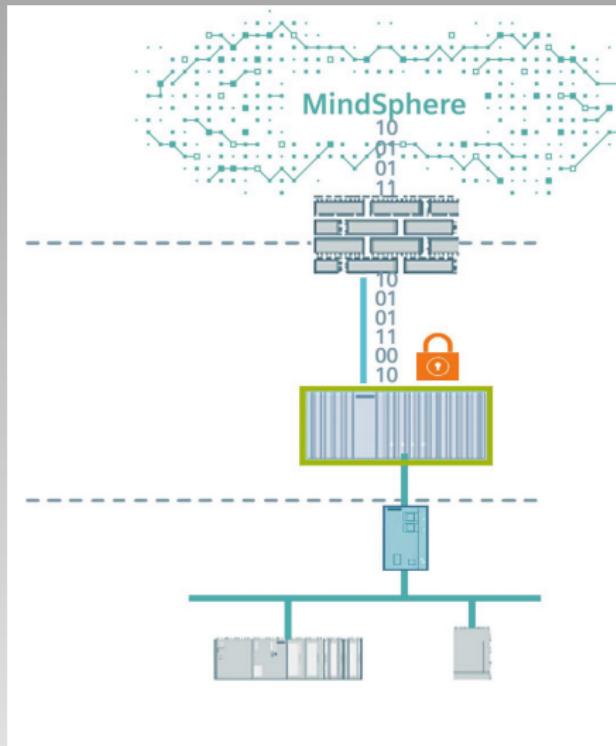
Exemples de Cloud dédiés à l'IoT proposés par des fabricants **d'automates** :

- *Mindsphere* de Siemens,
- *PLCnext* de Phoenix Contact,

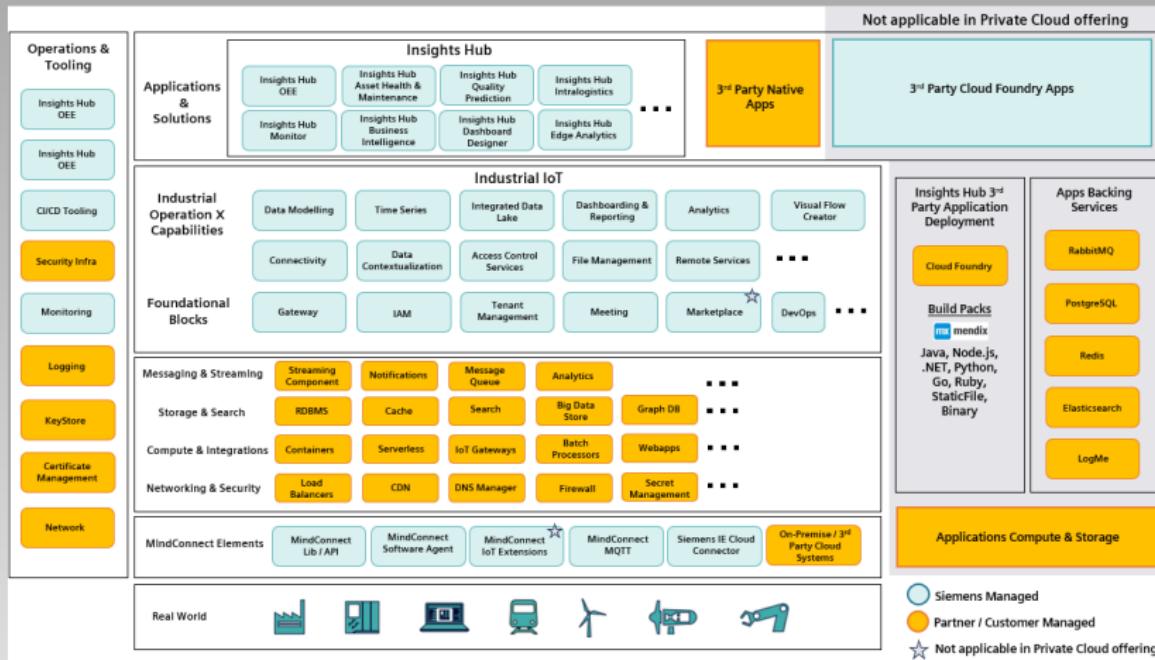
Exemples de Cloud dédiés à l'IoT proposés par des fabricants **de capteurs** :

- *Moneo* d'IFM Electronics,
- *Heartbeat* d'Endress Hauser,

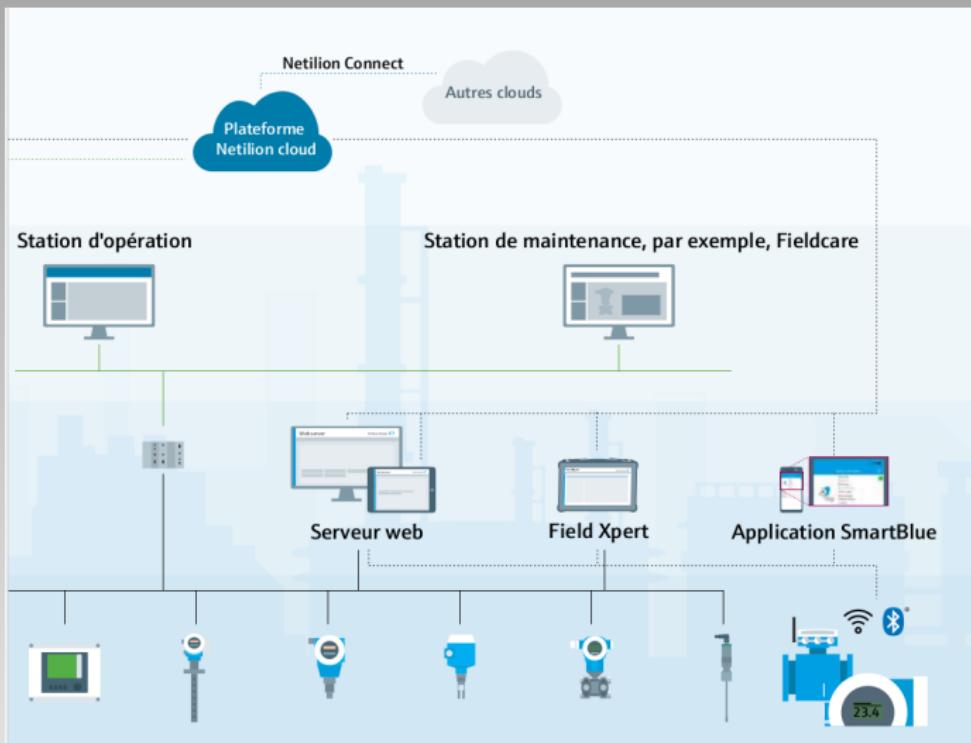
# Siemens Mindsphere



# Siemens Mindsphere



# Endress-Hauser HeartBeat Technology



# Endress-Hauser HeartBeat Technology

Étendre le champ d'application de Heartbeat Technology via l'écosystème IIoT de Netilion

Product Details

- Product Code: F940
- Manufacturer: Endress+Hauser
- Product Name: Micropump F940

Health Condition Details

- Health Status:** Failure
- Diagnosis Code:** F941
- Cause:** Echo lost
- Remedy:** Check parameter 'DC value'

Plus d'informations : [www.netilion.com](http://www.netilion.com)

**Un accès mobile simple et rapide - partout et à tout moment** Netilion est un écosystème IIoT basé sur le cloud, conçu pour les process industriels. Les services numériques associés permettent aux travailleurs mobiles de bénéficier des fonctionnalités de Heartbeat Technology

# Protocoles pour l'IoT

Principaux protocoles utilisés pour **récolter les données** en IIoT et les communiquer à une passerelle :

- **LoRaWAN** (Long Range Wide Area Network) : Un protocole qui permet de transmettre des données à longue distance avec une faible consommation d'énergie, idéal pour les installations industrielles où la portée est un enjeu majeur (exemple : équipements dans de grands espaces industriels ou entre plusieurs bâtiments).
- **Zigbee / Bluetooth Low Energy (BLE)** : Ces protocoles sont souvent utilisés dans des environnements où des équipements IoT sont proches les uns des autres. Zigbee est bien adapté pour les réseaux à faible consommation d'énergie, tandis que BLE est souvent utilisé pour des capteurs simples et proches.
- **5G** : La 5G commence à jouer un rôle important dans l'IoT industriel grâce à sa faible latence et à sa bande passante élevée, permettant une communication en temps réel entre les machines et les systèmes de contrôle. Cela est particulièrement utile pour les équipements en temps réel nécessitant des mises à jour immédiates et continues.



# Protocoles pour l'IoT

Principaux protocoles utilisés pour **remonter les données dans des Cloud ou Edge** :

- **MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport) : C'est un protocole léger de messagerie, très utilisé dans l'IoT en raison de sa faible consommation de bande passante et de sa capacité à fonctionner dans des environnements avec des connexions peu fiables. MQTT est parfait pour envoyer des données en temps réel à des serveurs pour analyse.
- **HTTP/HTTPS** : Utilisé pour la communication entre les capteurs et les plateformes cloud. Moins efficace que MQTT pour les environnements contraints en ressources, mais largement supporté par les systèmes standards.

# Fonctionnement de la maintenance prédictive avec l'IoT

La maintenance prédictive repose sur la collecte continue de données provenant des équipements via des capteurs IoT. Ces capteurs mesurent des paramètres comme :

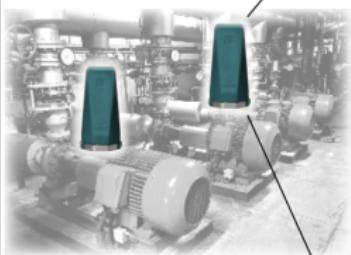
- **Température** : Pour détecter la surchauffe.
- **Vibrations** : Anomalies indiquant une usure mécanique ou un déséquilibre.
- **Pression** : Sur des équipements qui fonctionnent sous pression (pompes, compresseurs).
- **Courant électrique** : Mesure des variations de consommation énergétique pour identifier des problèmes de performance.
- **Humidité et flux d'air** : Pour la détection de corrosion ou d'anomalies dans les systèmes de ventilation.
- ...

Les données sont ensuite analysées par des algorithmes de machine learning (apprentissage automatique), qui compareraient les mesures en temps réel avec des modèles historiques pour identifier des signes avant-coureurs de défaillance.

# Exemple de maintenance prédictive : Analyse vibratoire

## Example

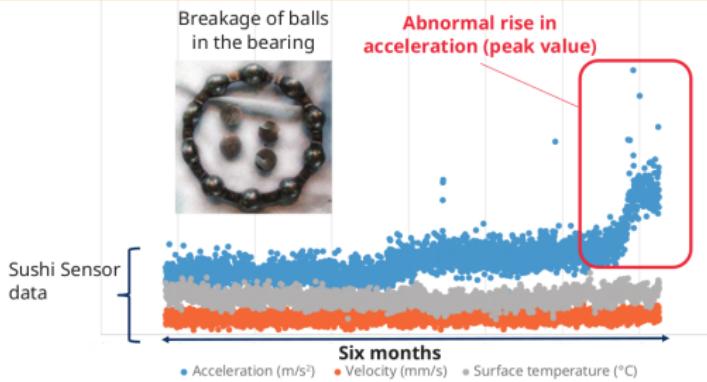
Through hourly measurements, the XS770A detected signs of abnormality in a ball bearing.



The XS770A continuously monitored the acceleration of pumps over six months. Its hourly measurements successfully caught signs of abnormality.

Figure 1 Example of detecting signs of abnormality at a chemical company

- The XS770A monitored the trend of the acceleration of pumps for six months and detected signs of abnormality.
- The customer was impressed by the effectiveness of Sushi Sensor.



# Exemple de maintenance prédictive : Surveillance de l'enrassement

Identification de l'accumulation de produit sur la surface du capteur



## Impact sur le capteur/ le process/ les opérations

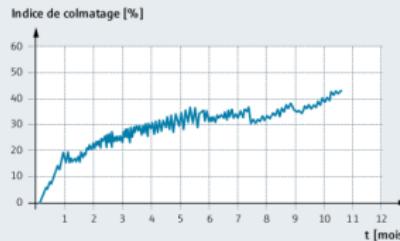
- Réduction de la fiabilité et de la performance de mesure
- Le débit pourrait être réduit si aucune mesure n'est prise
- Impact négatif potentiel sur les autres composants du process



## Comment ça marche

### Débit Electromagnétique (Promag)

- L'indice de colmatage est basé sur la différence de conductivité électrique entre le fluide et la couche de produit enrasçant.
- La distribution de la conductivité électrique dans le tube de mesure est analysée pour calculer une valeur indexée qui change proportionnellement lorsque l'accumulation augmente.
- La ligne de base de 0 % est définie lors de l'étalonnage en usine d'un nouvel appareil sans colmatage et va jusqu'à 100 %, ce qui représente la formation maximale détectable de l'accumulation de produit.



humidité

# Exemple de maintenance prédictive : gaz inhomogènes dans les conduits



- Ces inhomogénéités peuvent être :
  - Des gaz ou solides entraînés dans des milieux liquides, ou
  - Des liquides dans des milieux gazeux
- Les inhomogénéités peuvent être causées par des conditions de traitement instables et indésirables, mais aussi être présentes dans des applications où un certain mélange de phases est souhaité, par exemple une quantité spécifique d'air dans la crème glacée ou le fromage frais.



## Impact sur le capteur/ le process/ les opérations

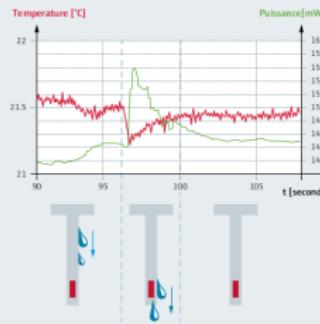
Les performances du dispositif, l'efficacité du process et la qualité du produit pourraient être affectées.



## Comment ça marche

### Débit : thermique (t-mass)

- L'humidité a un impact significatif sur le calcul du débit massique de gaz pour les débitmètres thermiques car le liquide formé sur le capteur a des caractéristiques de transfert de chaleur très élevées par rapport à la plupart des gaz.
- Par conséquent, lorsque du liquide se forme sur le capteur, le dispositif signale un surcomptage
- La stabilité de la réponse du capteur au cours de minutes précédentes est analysée à l'aide d'une approche statistique afin de déterminer si une anomalie existe.
- L'appareil peut être configuré pour émettre une alarme ou alerte en cas d'anomalie observée
- Cette fonctionnalité permet de s'assurer que vos opérations se déroulent comme prévu.



humidité

# Enjeux et Perspectives

- **Précision des modèles prédictifs** : La maintenance prédictive repose sur la qualité et la précision des données collectées, mais aussi sur la qualité des modèles d'apprentissage utilisés pour prédire les pannes. Les algorithmes doivent être constamment affinés et mis à jour.
- **Coût des capteurs et de l'infrastructure IoT** : Bien que les technologies IoT aient énormément progressé, l'investissement initial dans les capteurs, les passerelles et les systèmes d'analyse peut être significatif, surtout dans les grands sites industriels.
- **Cybersécurité** : La collecte et l'envoi des données industrielles nécessitent des protocoles de sécurité stricts pour protéger les infrastructures et éviter les attaques sur les équipements sensibles.