



# Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive

Cas d'usage, Patterns  
d'Architecture, Solutions IBM

Serge Bonnaud  
Christophe Didier

*Juillet 2019*



# Sommaire

<b>Préambule</b> .....	6
<b>Industrie 4.0 et fabrication cognitive</b> .....	10
<b>1. Concept de plateforme IIoT</b> .....	13
1.1 La diversité des ateliers de fabrication .....	13
1.2 Diagramme de contexte .....	14
1.3 Persona et difficultés associées .....	15
1.4 Architecture actuelle des processus de fabrication .....	17
1.5 Adopter l'IoT pour améliorer les processus de fabrication .....	21
1.6 Optimiser la fabrication par une architecture à trois couches .....	23
1.6.1 Principes de l'architecture étendue à trois couches .....	26
1.6.2 Capacités de la suite IBM Watson IoT for Manufacturing .....	27
1.6.3 Conseils et règles de mise en place de l'architecture .....	28
<b>2. Edge Analytics</b> .....	32
<b>3. Middleware de l'usine : Plant Service Bus</b> .....	36
3.1 Exemple au niveau de l'usine : cas d'utilisation - Détection acoustique .....	41
3.2 Exemple au niveau du "Edge" : cas d'utilisation- Inspection visuelle.....	42
3.3 Exemple au niveau atelier : cas d'utilisation - Support à l'opérateur de maintenance. ....	44
3.4 Exemple au niveau atelier : cas d'utilisation "Heart Manufacturing" .....	47
3.5 Exemple au niveau entreprise : Cas d'utilisation : OEE/TRS .....	48
<b>4. Cybersécurité IT/OT</b> .....	52
4.1 Cybersécurité de l'infrastructure OT .....	52
<b>5. Modèle de déploiement</b> .....	53
<b>6. Comment démarrer son programme de transformation</b> .....	54
6.1 Démarrer rapidement : Quelles méthodes ? .....	55
6.2 Développer le premier MVP : Produit Minimum Viable .....	57
6.3 Conception de la feuille de route : Approche projet pour déploiement .....	58
6.4 Exploration et innovation : conception centrée sur l'utilisateur et approche DevOps Factory ..	59
6.5 IBM Architecture Center .....	59
<b>7. Étude de cas : transformation digitale du Manufacturing Smart ManDevFactory</b> .....	60
7.1 Introduction des cas d'utilisation .....	63
7.2 Cas d'utilisation n° 1 : Produit Augmenté .....	63
7.3 Cas d'utilisation n° 2 : Equipement Augmenté .....	64
7.4 Cas d'utilisation n° 3 : Opérateur étendu .....	65
7.5 Autres cas d'utilisation considérés .....	66
<b>Conclusion</b> .....	67

## Figures

Figure 1	4ème révolution industrielle . . . . .	10
Figure 2	Convergence IT et OT par L'IoT . . . . .	13
Figure 3	Diagramme du contexte pour plateforme IIoT. . . . .	14
Figure 4	Vue simplifiée d'une usine basée sur MES, PLC et SCADA . . . . .	17
Figure 5	Exemple de tableaux de bord IoT . . . . .	19
Figure 6	Roadmap Analytique . . . . .	21
Figure 7	Extension de l'usine avec plateforme IIoT et bus d'intégration . . . . .	24
Figure 8	Architecture étendue avec les solutions IBM. . . . .	28
Figure 9	Définitions OEE/TRS : Performance * Qualité * Disponibilité. . . . .	31
Figure 10	Illustration du « Edge » dans un contexte industriel . . . . .	32
Figure 11	Principes Edge Analytics . . . . .	32
Figure 12	Collaboration entre Hilscher et IBM pour l'Edge computing. . . . .	33
Figure 13	SmartFactory <sup>KL</sup> . . . . .	34
Figure 14	Partenaires Industrie 4.0 du projet SmartFactory <sup>KL</sup> . . . . .	35
Figure 15	Tableau de bord de SmartFactory <sup>KL</sup> . . . . .	35
Figure 16	Logique de règles déployées au niveau du PSB. . . . .	36
Figure 17	Présentation de l'architecture PSB. . . . .	37
Figure 18	PSB : déploiement de référence. . . . .	37
Figure 19	SmartFactory <sup>KL</sup> . . . . .	38
Figure 20	Usine SmartFactory <sup>KL</sup> : couche d'intégration prise en charge par PSB. . . . .	38
Figure 21	Optimisation des assets et opérations. . . . .	39
Figure 22	Watson IoT for Manufacturing : capacités. . . . .	40
Figure 23	Diagnostic acoustique d'un moteur de véhicule. . . . .	41
Figure 24	Inspection visuelle avec Watson IBM Visual Insights . . . . .	42
Figure 25	Maintenance cognitive pour l'opérateur. . . . .	46
Figure 26	Watson Equipment Maintenance Assistant. . . . .	47
Figure 27	Application Heartbeat Manufacturing. . . . .	48
Figure 28	OEE : valeur pour les différents secteurs d'activité. . . . .	49
Figure 29	OEE et personas . . . . .	49
Figure 30	OEE : tableau de bord d'une solution type pour un atelier soudure (automobile) . . . . .	49
Figure 31	SIEM pour IT/OT. . . . .	52
Figure 32	QRadar pour IT/OT. . . . .	53
Figure 33	Services et actifs de la méthode Garage. . . . .	55
Figure 34	Présentation de la méthode MVP. . . . .	56
Figure 35	Approche de projet industriel . . . . .	58
Figure 36	Exemple Garage et DevOps Factory. . . . .	58
Figure 37	Composant du garage . . . . .	58
Figure 38	Approche de référence Industrie 4.0. . . . .	59
Figure 39	Espace Design Thinking. . . . .	60
Figure 40	Industrie 4.0 Architecture type. . . . .	62
Figure 41	Cas d'utilisation n° 1 : Produit amélioré . . . . .	64
Figure 42	Cas d'utilisation n°2 : Équipement augmenté. . . . .	65
Figure 43	Cas d'utilisation n° 3 : Opérateur augmenté . . . . .	66

## Nomenclature

MES	Manufacturing Execution System
IoT	Internet des Objets
IIoT	Internet Industriel des Objets
PLC	Programmable Logic Controller (Automate Programmable Industriel)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Système de Contrôle et d'Acquisition de Données)
PSB	Plant Service Bus
ESB	Enterprise Service Bus
OEE	Overall Equipment Efficiency
TRS	Taux de Rendement Synthétique
IT/OT	Information Technology/Operational Technology
KPI	Key Process Indicator (Indicateur Clé de performance)
MVP	Minimum Viable Product (Produit Minimum Viable)
PoC	Proof Of Concept (Preuve de concept)
Change Over	Reconfiguration de lignes de fabrication
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
Work Order	Bon de travail
IA	Intelligence Artificielle
Hidden Facet	Facette cachée
DL	Apprentissage profond (Deep Learning)
ML	Apprentissage Machine (Machine Learning)
Supply Chain	Distribution
Gateway	Passerelle
Device	Dispositif
SPC	Statistical Process Control
MTBF	Medium Time Between Failure
SDI	Software Defined Infrastrure
Scrap Rate	Taux de rebut
SOP	Standard Operation Procedure
SOC	Security Operation Center

## Biographie



### **Serge Bonnaud**

Industrie Technical Leader  
Membre d'IBM Technical Expert Council France

Depuis 1998, Serge Bonnaud travaille dans le domaine du développement logiciel et de l'ingénierie système. Il a également été impliqué dans l'industrie de la santé, avec le développement de systèmes d'analyse de données médicales ou l'automatisation de l'activité commerciale d'officines.

Il a rejoint IBM en 2004 après avoir travaillé chez Verilog, CSEE, Rational Software et Thomson Software Products. Serge Bonnaud a participé en tant qu'architecte à divers projets de l'Internet des Objets (IoT) en ayant recours aux technologies Big Data et Analytics.

Il a également participé au déploiement d'IBM Watson IoT for Automotive, la solution IBM pour les véhicules connectés. Depuis 2016, il occupe le poste de Technical Leader dans le domaine de l'industrie chez IBM Europe.

**LinkedIn** : [www.linkedin.com/in/serge-bonnaud-97b1527](http://www.linkedin.com/in/serge-bonnaud-97b1527)

**Twitter** : @serge\_bonnaud



### **Christophe Didier**

Executive Architect et Associate Partner,  
Directeur technique IoT France  
Membre d'IBM Technical Expert Council France

Christophe travaille sur des projets d'intégration complexes depuis 25 ans en tant que spécialiste, chef de projet technique, architecte et SME (Subject Matter Expert).

Il a été nommé Executive Architect en 2013 et est directeur technique de l'IoT (Internet des objets), de Smarter Cities et de l'Industrie 4.0 chez IBM France.

Il a passé 16 ans chez IBM Global Business Consulting, où il a principalement étudié les problèmes liés à l'intégration d'applications d'entreprise, l'architecture orientée services, la gestion des processus industriels, les projets de type *Smarter Cities* et l'Optimisation industrielle.

Il est diplômé en intelligence artificielle (Epita, France) et titulaire d'un MBA (Warwick Business School, Angleterre).

**LinkedIn** : [www.linkedin.com/in/christophe-didier-bb9b425/](http://www.linkedin.com/in/christophe-didier-bb9b425/)

**Twitter** : @ChristofDidier

## Préambule



### Hubert Lalanne

Distinguished Engineer  
Directeur technique secteur industriel Europe  
Membre de l'IBM Academy of Technology

Je suis ravi d'écrire l'avant-propos de la première édition de ce livre blanc intitulé "Industrie 4.0 et Fabrication Cognitive".

L'industrie 4.0 est généralement appelée la quatrième révolution industrielle. Cette révolution peut être vue comme le passage d'un monde industriel à une révolution numérique globale qui touche tous les secteurs industriels depuis de nombreuses années.

Selon une étude réalisée en 2015 par Mc Kinsey (Industry 4.0 : How to navigate digitization of the manufacturing sector ?), la majorité de la valeur créée lors des révolutions industrielles précédentes provenait de la modernisation des actifs de fabrication. Cette nouvelle révolution a pour objectif d'augmenter la productivité et la performance des entreprises en introduisant des technologies de rupture, loin des traditionnels projets de remplacement des machines de fabrication dans les usines.

La valeur réside dans l'optimisation de bout en bout du « Digital Thread ». Cette optimisation repose sur une meilleure traçabilité entre l'ingénierie, la production et la maintenance tout en cherchant à supprimer les tâches inutiles et mieux partager l'information entre les équipes.

Pour ce faire, nous devons faire converger le cybermonde des technologies numériques avec le monde physique des technologies industrielles opérationnelles, en intégrant et en analysant les données entre les sources et les entreprises, en partageant les résultats tout au long de la chaîne de valeur et en assurant l'intégration aux actifs physiques de production.

L'industrie 4.0 introduit deux concepts clés : le **Digital Thread** et le **Digital Twin**. Le Digital Thread vise à mieux intégrer l'ensemble des activités d'ingénierie, de conception et d'après-vente. Il permet d'exploiter les données d'usage du produit final dans son environnement afin d'améliorer les modèles de conceptions réalisés pendant la phase d'ingénierie.

Le Digital Twin est une représentation virtuelle d'un objet (produit, ligne de fabrication, usine, ...) destinée à des fins d'analyse d'impact, d'optimisation ou de simulation. Il est étendu avec les données de l'IoT, intègre des informations provenant de plusieurs disciplines d'ingénierie (logiciel, mécanique, électronique, câblage, électrique,...) et va ainsi au delà de la simple maquette 3D essentiellement orientée mécanique.

Différentes technologies de rupture rendent cette transformation possible. Je citerai en particulier le "Cloud, le Big Data, la blockchain, l'IoT, l'apprentissage machine et l'IA, les nouvelles IHM, la mobilité, la réalité virtuelle et augmentée, les assistants cognitifs et enfin la fabrication additive et la robotique."

Ce document peut être vu comme un guide pratique expliquant comment s'engager dans un projet 4.0 d'un point de vue IT. Ce guide décrit les enjeux, les cas d'usage et les solutions associées tout en proposant une approche structurée et guidée.

Serge Bonnaud et Christophe Didier ont développé une forte expertise dans la mise en œuvre de systèmes connectés en combinant plusieurs de ces technologies de rupture. Pour créer ce document, ils ont eu recours à leur expérience dans différents contextes industriels afin d'améliorer la visibilité et le contrôle en temps réel des processus de fabrication, soit en facilitant la collaboration entre les silos de l'entreprise, soit en permettant un nouveau partenariat entre l'Homme et la technologie.

Ce document porte sur le concept d'Internet industriel des objets (plateforme IIoT) basé sur une architecture à trois couches (atelier, usine, entreprise).

Les différentes couches de cette architecture sont décrites et illustrées par des cas d'usages concrets, présentant des patterns tels que l'Edge Analytics ou la connectivité standard IT/OT.

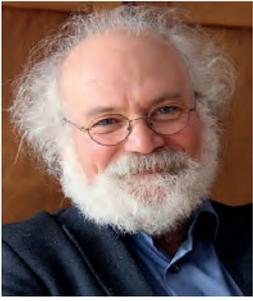
Un autre point critique de l'industrie 4.0 est la cybersécurité. La convergence des technologies opérationnelles (OT) et des technologies de l'information (IT) entraînent de nouveaux risques, en partant de l'ouverture des équipements industriels à Internet et aux nouvelles approches de connectivité. À ce titre, un chapitre donne un aperçu d'un modèle de sécurité complet pour les technologies opérationnelles IT et OT.

Le Cloud peut aider à réduire de manière significative l'investissement initial nécessaire à la mise en œuvre d'un projet Industrie 4.0. Le modèle de déploiement d'une Industrie 4.0 ne doit pas uniquement se baser sur le cloud mais adopter une approche hybride et équilibrer entre les 3 couches de l'architecture (atelier, usine, entreprise) la répartition des traitements.

Les composants sont placés dans un niveau donné, en fonction des contraintes liées aux besoins de temps réel, de bandes passantes disponibles, de temps de latence admissible, ou d'exigence purement sécuritaire.

Enfin, le document décrit plusieurs modèles d'accompagnement possible depuis l'organisation de projet jusqu'au déploiement en production des MVP.





**John Cohn**  
IBM Fellow  
Agitateur distingué  
IBM Research

*Je vous recommande vivement de lire ce document sur l'industrie 4.0 écrit par Serge Bonnaud et Christophe Didier. C'est la description de l'industrie 4.0 la plus succincte et claire que j'ai eu l'occasion de lire.*

*Le lecteur prend rapidement connaissance des concepts et de la mise en oeuvre grâce à des conseils pratiques sur la manière de s'engager dans cette transformation digitale.*

*Les cas d'utilisation sont très concrets et réels. Ils emmènent le lecteur depuis l'atelier, l'usine, les équipements industrielles et automates jusqu'à l'analytique sur les données, sans oublier de décrire l'impact sur les niveaux Cloud et entreprise. Beaucoup de bonnes idées sont clairement décrites et illustrées à l'aide d'exemples extraits de situations réels vécues par les auteurs.*

*C'est un très bon document.*

*Félicitations à Serge et Christophe pour avoir formalisé cette expérience sous la forme d'un guide pratique.*

## Industrie 4.0 et Fabrication Cognitive

Améliorer la productivité des systèmes de production a toujours été au cœur de chaque révolution industrielle. La 4-ème révolution industrielle ou Industrie 4.0 (Industry 4.0 est une seconde orthographe possible) s'adresse au « *Manufacturing* », à l'ingénierie et à la "Supply Chain".

D'un point de vue **général**, son objectif est de repenser les processus de production de manière à fabriquer des produits de plus en plus connectés et intelligents, à des coûts de masse pour un marché de plus en plus mondialisé.

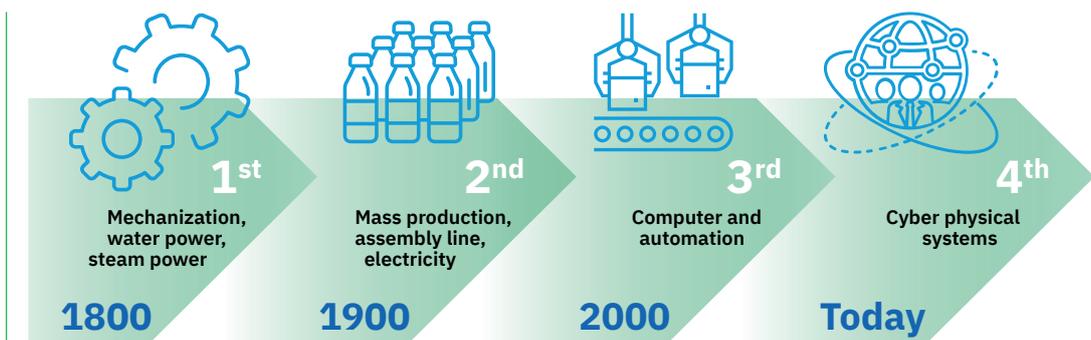
D'un point de vue **opérationnel**, la réduction des coûts de fabrication, l'automatisation, l'optimisation des processus et l'amélioration du rendement et des performances, incluant la qualité finale des produits, sont autant d'objectifs auxquels l'Industrie 4.0 essaient de répondre.

Selon IBM, nous sommes entrés depuis quelques années dans la 4-ème révolution industrielle, l'ère de la fabrication dite cognitive et de l'analyse des données. Elle se différencie totalement de toutes celles qui l'ont précédée (vapeur, électricité, automatisation, ...) à la fois dans les cas d'usage, principes et solutions mises en oeuvre.

En terme d'impact, cette 4ème révolution va nécessiter de transformer, automatiser et digitaliser les processus de production, à savoir les études et l'ingénierie, la fabrication et la *Supply Chain*.

Sans une réflexion profonde sur la digitalisation et le choix de partenaires stratégiques, il apparaît difficile aujourd'hui pour de nombreuses entreprises d'atteindre les niveaux de productivité et de spécialisation demandés par un marché incertain et des utilisateurs de plus en plus exigeants.

**Figure 1**  
4<sup>ème</sup> révolution  
industrielle



Comme indiqué en préambule, les données et plus précisément **l'analytique sur les données** change notre perception des machines, des processus, des produits et des opérations. L'analytique à partir des données permet d'identifier des modèles permettant de prédire le comportement des équipements ou des processus et d'anticiper des défaillances ou des problèmes de qualité des produits.

Améliorer la précision des **modèles prédictifs et prescriptifs** (par exemple dans la maintenance) est rendu possible grâce aux technologies de l'industrie 4.0 et représente une place importante dans les stratégies des entreprises. Au fur et à mesure que le nombre d'usines et d'équipements équipés par l'IoT augmentera, le volume de données ne fera que croître et les modèles actuels, souvent basés sur des approches statistiques (SPC) ou probabilistes (MTBF), devront s'adapter et évoluer afin d'améliorer leur précision.

A travers cette introduction, nous pouvons constater que, l'informatique dite traditionnelle éprouve des difficultés à s'adapter à cet afflux de données, les modèles actuels ne suffisent plus pour anticiper, contrôler, prédire les comportements et affiner les prévisions.

Pour donner suite à ce constat, la tendance admise par le marché est de s'orienter vers une informatique dite "cognitive" afin de pouvoir traiter, comprendre et optimiser l'information produite par les usines.

A ce titre, il nous semble important de comprendre les raisons qui amènent l'Industrie 4.0 à s'appuyer sur l'IA.

Les raisons essentielles sont exposées ci-dessous :

- La quantité de données que la plupart des entreprises devront gérer augmentera d'un facteur 10 tous les 5 ans. La vague Industry 4.0 est déjà l'un des principaux générateurs de sources de données pour les processus de fabrication et de *Supply Chain*.
- Les données non structurées dites « Dark Data » représentent 80% de toutes les données générées aujourd'hui et devraient atteindre 93% d'ici 2020. Le secteur de la fabrication (*Manufacturing*) est particulièrement concerné par cette explosion de données.
- La nouvelle génération de lignes de production et d'équipements est très 'bavarde' et génère énormément de données opérationnelles. Fournir des informations sur un aussi grand nombre de séries temporelles et prendre la bonne décision en contexte au bon moment a toujours été très difficile.
- Le temps réel est un défi clé au niveau des ateliers et des lignes de fabrication car certaines situations nécessitent de corrélérer plusieurs sources de données dans un délai très court. Par exemple : 1) réagir rapidement au cas où certains paramètres de la machine atteignent soudainement leurs limites - 2) prendre en compte plusieurs paramètres en même temps (corrélation multi-variables) afin d'identifier une situation avant que l'un des paramètres n'aient atteint un seuil d'alerte.

En conséquence, l'informatique cognitive est aujourd'hui définie comme la capacité des systèmes à apprendre, émettre des hypothèses et à suggérer des actions en comprenant le sens des données structurées et non-structurées produites par les opérateurs, les équipements et les produits connectés.

L'informatique cognitive est capable d'intégrer l'expertise humaine et de traiter l'importante volumétrie générée par l'Industry 4.0. A ce titre, elle apparaît comme un avantage concurrentiel essentiel et un grand nombre d'entreprises manufacturières ont entamé des initiatives dans ce sens et déployé leurs premières capacités digitales sous forme de MVP.

D'un point de vue opérationnel, l'informatique cognitive s'appuie et combine plusieurs technologies digitales telles que l'IA, le cognitif, la Data Science, le Big Data, la mobilité et l'analytique. Elle permet de faire évoluer les processus de fabrication vers le concept **d'usine numérique**, terme que l'on rencontre souvent dans l'industrie. On parlera souvent de: *Smart Factory*, *Intelligent Factory*, *Digitalized Shop Floor*, ou usine du futur, ou usine digitale.

Nous verrons par la suite que l'usine numérique et l'Industrie 4.0 mettent en oeuvre deux familles principales de cas d'usage et de solutions associées :

- **Optimisation des actifs ;**
- **Optimisation des opérations.**

Grâce au concept de plateforme IoT industrielle (IIoT), il est possible de transformer et améliorer les processus de fabrication par l'optimisation des actifs et des opérations.

La plate-forme IIoT va ainsi aider à moderniser les usines en collectant et analysant les données produites par les équipements et les opérateurs.

Ce document vise à expliquer les principes et les cas d'utilisation sous-tendus par le concept de plateforme IIoT.

## 1. Concept de plateforme IIoT

### 1.1 La diversité technique rencontrée dans les ateliers de fabrication

De nombreuses usines disposent d'une grande variété de lignes de fabrication, d'équipements, de capteurs, PLC, SCADA, de processus hyper optimisés mettant en œuvre une grande variété de systèmes IT et OT hérités de tous âges et de toutes générations.

En outre, beaucoup d'entre elles s'appuient sur différents fournisseurs pour les machines et la robotique. En effet, une usine est principalement composée de lignes de fabrication et d'assemblage qui ne sont pas toujours connectées au réseau informatique IT et donc assez peu ouvertes à une approche analytique basée sur les données.

Les automates programmables industriels, les systèmes de contrôle et d'acquisition de données ainsi que la gestion des processus industriels coordonnent les flux de fabrication et ont de tout temps contribué au niveau de performance à atteindre, mais leur manque d'intégration au monde IT a contribué à développer des silos organisationnels dans l'usine.

Par conséquent, la tendance au niveau des processus de fabrication est d'intégrer l'informatique aux lignes de fabrication et d'assemblage. La convergence entre les technologies opérationnelles dites OT et les technologies de l'information dites IT est par conséquent devenue une nécessité.

Cette convergence nécessite de réfléchir à une architecture commune englobant plusieurs dimensions telles que les équipements matériels, *l'Edge Computing*, les ateliers, les lignes de fabrication ainsi que les différents Cloud que l'on peut rencontrer dans l'entreprise.



**Figure 2**  
Convergence IT et  
OT par l'IoT

Dans un tel contexte, le concept innovant de plateforme IIoT a récemment vu le jour. Une plateforme IIoT est implémentée par des technologies telles que l'analytique, le Big Data, des assets spécifiques aux différents processus (continus, discrets) et plus récemment par le cognitif, une discipline issue de l'intelligence artificielle.

La plateforme IIoT sert ainsi de système central pour recueillir des données, exécuter les modèles analytique et exposer de nouveaux services aux lignes métiers, aux opérateurs et directeurs de production.

Une plateforme IIoT n'est jamais directement connectée aux opérateurs, aux produits et aux équipements mais par le biais d'une couche de connectivité, dénommée par la suite "Plant Service Bus". Nous reviendrons ultérieurement sur cet aspect dans le présent document.

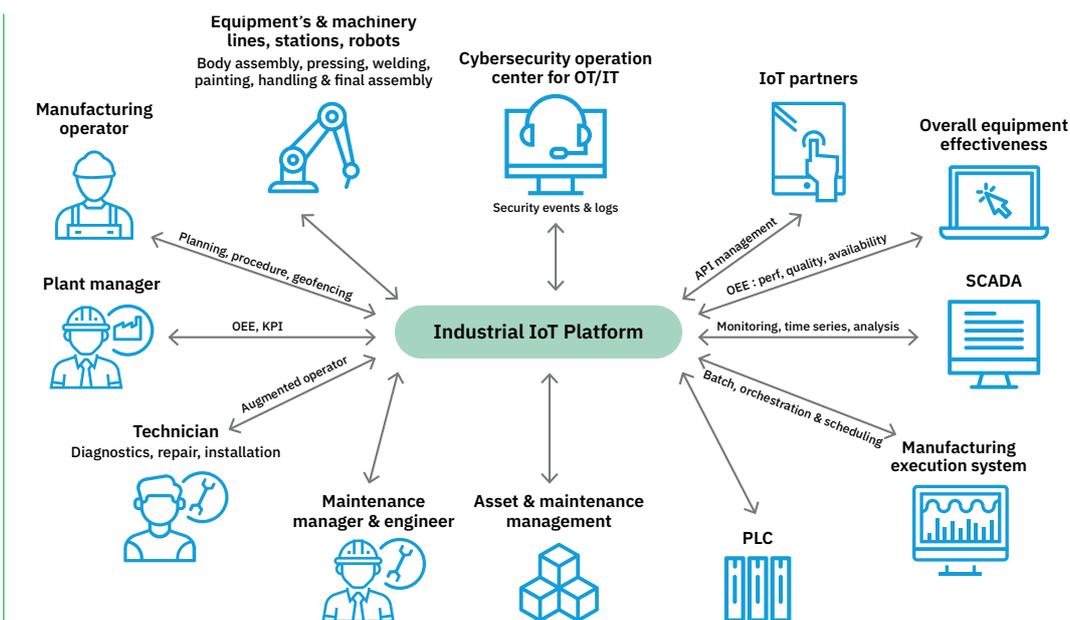
Le diagramme de contexte ci-dessous présente les différents acteurs et les dépendances entre la plateforme IIoT et son environnement. Les acteurs sont des systèmes, des produits ou des rôles pris par des personnes.

L'exemple ci-dessous représente la modélisation d'un processus de fabrication discontinu impliquant des systèmes PLC et SCADA, typiquement rencontrés dans l'industrie automobile.

## 1.2 Diagramme de contexte

La figure 3 présente les dépendances d'une plateforme IIoT pour différents procédés de fabrication impliquant des lignes d'équipement de soudure, d'assemblage et de peinture dans l'industrie automobile. Ce diagramme peut s'appliquer à d'autres processus de fabrication et la plupart des concepts restent pertinents.

Figure 3  
Diagramme de  
contexte pour  
plateforme IIoT



### 1.3 Persona et rôles associés

Dans le secteur de la fabrication, il existe divers rôles et profils qui contribuent aux performances et à la qualité de la production. Ces rôles sont liés au concept de *persona*. Un *persona* représente une personne, un utilisateur ou toute partie prenante du système (plateforme IIoT) qui doit s'assurer que les indicateurs clés de performance sont atteints.

Le tableau ci-dessous décrit les relations entre *Persona*, Rôle et Indicateur ainsi que les difficultés rencontrées.

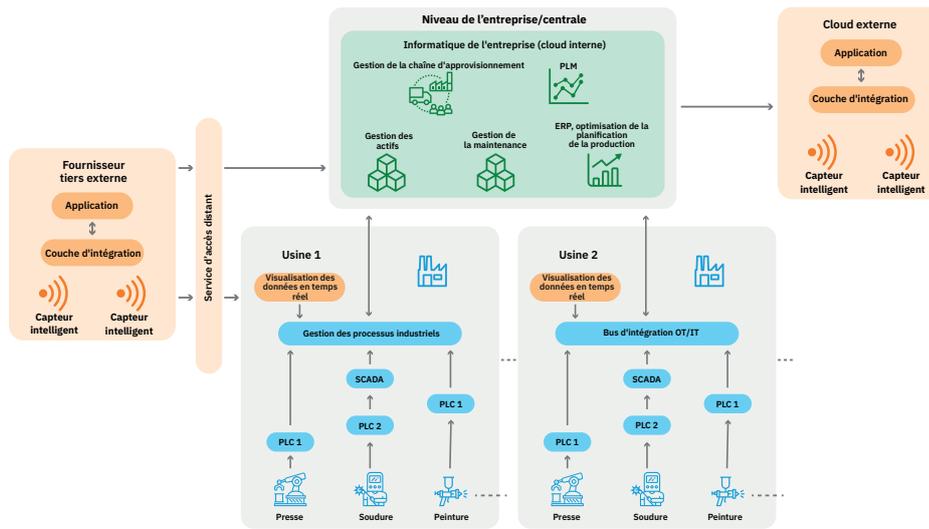
Persona	Rôle	Indicateur clé de performance	Pain points
<b>Directeur d'usine</b> <i>Plant Manager</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les directeurs d'usine surveillent et organisent les opérations quotidiennes des usines de fabrication ;</li> <li>- Ils supervisent les employés, la production et la productivité pour s'assurer que l'usine fonctionne sans problème, rapidement, efficacement et en toute sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRS ;</li> <li>- Budget ;</li> <li>- Sécurité ;</li> <li>- Innovation ;</li> <li>- Productivité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manque de personnel qualifié ;</li> <li>- Interaction collaborative ;</li> <li>- Relations vendeurs ;</li> <li>- Changements fréquents et plans très exigeants ;</li> <li>- Accès simplifié à l'information.</li> </ul>
<b>Responsable de maintenance (programme de maintenance)</b> <i>Maintenance Manager</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le responsable de maintenance s'assure que les installations, l'aménagement et les machines fonctionnent au maximum de leur efficacité et de leur rendement ;</li> <li>- Cela comprend la maintenance préventive totale, la gestion des pannes des équipements mécaniques, électriques et robotiques (y compris la programmation logicielle) ;</li> <li>- Comprend aussi la gestion du personnel et les rapports budgétaires/rapports sur les coûts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Budget ;</li> <li>- Tâches à faire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Délai d'exécution des tâches de maintenance imprévisible ;</li> <li>- Pression sur les coûts ;</li> <li>- (rentabilité optimale).</li> </ul>

Persona	Rôle	Indicateur clé de performance	Pain points
<b>Responsable de maintenance (maintenance opérationnelle)</b> <i>Maintenance Engineer</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le responsable de maintenance doit assurer l'optimisation de la structure organisationnelle du service de maintenance ;</li> <li>- Analyser les défaillances répétitives des équipements ;</li> <li>- Estimer les coûts de maintenance et évaluer les alternatives ;</li> <li>- Évaluer les besoins de remplacement de l'équipement et définir les programmes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de rendement global ;</li> <li>- Budget.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnostic trop long/ différents systèmes ;</li> <li>- Pièces manquantes ;</li> <li>- Tâches administratives et analyses augmentant l'indisponibilité ;</li> <li>- Processus chronophage pour trouver des renseignements complémentaires.</li> </ul>
<b>Technicien</b> <i>Technician</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aider à l'installation de nouveaux équipements de fabrication ;</li> <li>- Inspecter régulièrement et examiner l'équipement et les machines ;</li> <li>- Répondre aux alertes et aux bulletins des opérations, effectuer les procédures correctives et les réparations conformément aux SOP et aux protocoles d'entretien ;</li> <li>- Documenter clairement les activités d'inspections et les réparations nécessaires, conformément aux protocoles et procédures internes et externes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée des activités ;</li> <li>- Conformité ;</li> <li>- Sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Souvent sous pression et stressé (travailler plus vite, améliorer la qualité) ;</li> <li>- Manque d'aide au cours de la phase de diagnostic ;</li> <li>- Documentation complexe à comprendre ;</li> <li>- Manque de partage des connaissances.</li> </ul>
<b>Opérateur de fabrication</b> <i>Manufacturing Operator</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place l'équipement de production et le matériel et s'assurer que les commandes et les factures sont conformes;</li> <li>- Utiliser l'équipement de façon sécurisée et efficace pour la production.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveaux de qualité et de performance ;</li> <li>- Sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Souvent sous pression et stressé (travailler plus vite, améliorer la qualité) ;</li> <li>- Manque de connaissances ;</li> <li>- Manque d'aide en cas d'incident ;</li> <li>- Manque d'informations pour la production de rapports.</li> </ul>

## 1.4 Architecture de production communément rencontrée

L'image suivante représente un exemple d'architecture mis en œuvre dans les usines et les ateliers de fabrication. Nous avons ici représenté les principaux composants d'un point de vue logique.

### Présentation d'une architecture simplifiée de production



**Figure 4**  
Vue simplifiée d'une usine basée sur MES, PLC et SCADA

Chaque usine est équipée d'ateliers composés de lignes de fabrication et d'assemblage provenant de différents fournisseurs de technologies opérationnelles. Une ligne est composée elle-même de plusieurs stations, postes de travail en bord de ligne ou cellules regroupant des automatismes tels que des robots.

Les opérateurs exécutent des tâches ordonnancées et séquencées dans le temps, prédéfinies et en théorie documentées. Chaque opérateur est censé collaborer de manière prévisible avec le reste de l'équipe dans le cadre de procédures clairement partagées (nous verrons par la suite que cela n'est malheureusement pas toujours le cas) !

Un **Automate Programmable Industriel (PLC)** est un dispositif électronique programmable qui a été renforcé et adapté pour la gestion des processus de fabrication, tel que les lignes de montage, les robots ou tout autre activité qui exige un contrôle fiable allié à une facilité de programmation et de diagnostic des défauts.

Le **Système de Contrôle et d'Acquisition de Données (SCADA)** désigne les moyens de supervision (ICS) utilisés pour contrôler et suivre les équipements industriels pilotant et supervisant typiquement des processus tels que : contrôle de la distribution de l'eau et des déchets, télécommunications, énergie, fabrication discrète, transport ou raffinage du pétrole et du gaz. Les SCADA sont un type de système informatique utilisé pour collecter, analyser et présenter les données aux opérateurs en temps réel.

Les SCADA sont aussi capables d'envoyer des commandes aux équipements (ouvrir une vanne, démarrer une ligne d'assemblage, fermer un conduit, ...) et de gérer les erreurs associées. Le système SCADA émet des notifications en déclenchant des alarmes si les conditions en matière de données opérationnelles décrivent dans les règles de supervision se matérialisent.

Le **système MES** (*Manufacturing Execution System*) est un système informatisé central et utilisé dans les processus de fabrication, permettant d'exécuter les plans de fabrication : transformation de matières premières, assemblage (véhicules, ...).

Il fournit des informations clés sur l'exécution des plans de fabrication, il permet de gérer les *workflows* ainsi que les situations anormales tout en produisant les données unitaires pour calculer les indicateurs de performance.

Un MES aide également à comprendre comment optimiser les conditions de fonctionnement des usines afin d'améliorer le taux de rendement synthétique (TRS).

Certains systèmes MES fonctionnent en temps réel pour favoriser le pilotage d'autres éléments du processus de fabrication tels que les activités réalisées par les opérateurs ou par les services de maintenance. Certains systèmes MES connus sur le marché sont fournis par des sociétés telles que Dassault Systems, SAP, Siemens, Rockwell ou ABB, etc...

La **visualisation en temps réel** (*Real-Time Data Visualisation*) est une fonction qui permet de collecter, pré-traiter et visualiser les données de séries temporelles provenant des équipements. Elle utilise très souvent des synoptiques graphiques présentant la chaîne de fabrication et l'avancée des tâches (remplissage de cuves, état d'un convoyeur, état des caddies, fin d'un batch, ...).

Sur les équipements, il est possible de visualiser ce que l'on appelle des mesures individuelles ou *Data Points* et de les agréger de manière hiérarchique (Exemple : mesure individuelle de température sur un circuit de refroidissement *par segments* et calcul de la valeur moyenne pour l'ensemble du conduit).

La visualisation est aussi importante pour guider les opérateurs dans des processus dits longs tels que le *Change Over* (reconfiguration), le diagnostic, le redémarrage ou tout simplement le nettoyage d'ateliers. Elle permet d'améliorer l'efficacité des équipes (Exemple : réduction du nombre de pas d'un opérateur, réduction du risque lié à l'oubli d'une tâche, affichage pas à pas des procédures de réparation, notification partagée de la fin d'une action programmée).

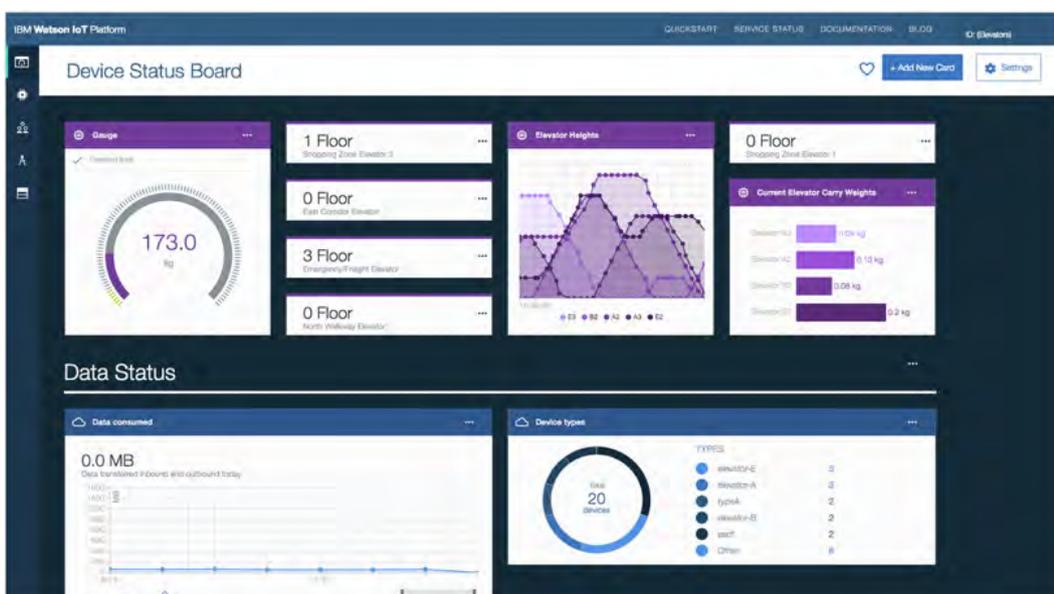
Un composant de visualisation de données performant peut se connecter à de nombreuses interfaces et collecter des données à partir de différents formats ou protocoles. Il doit être capable de supporter à la fois des séries temporelles (données continues) ou des données discrètes (erreurs, alarmes, événements) générées par les PLC, SCADA, MES, passerelles IoT, capteurs, etc.

Tout comme pour les SCADA, PLC et MES, les composants de visualisation en temps réel de l'état des processus et des équipements aident toujours l'opérateur à prendre des décisions de façon proactive avant qu'il ne soit trop tard. Certains de ces composants sont fournis par des entreprises telles que OSIsoft ou Schneider Electric pour n'en citer que deux.

La notion de **tableau de bord (Dashboarding)** est traditionnellement liée à la visualisation de données en temps réel, mais pas uniquement. De manière générale, tous les composants évoqués doivent disposer de tableaux de bord prédéfinis et personnalisables permettant de définir la sécurité, créer les utilisateurs, définir des règles, entraîner les modèles analytiques, visualiser les résultats de l'exécution des modèles, représenter les séries temporelles et les événements en provenance des équipements, gérer les notifications et les recommandations aux utilisateurs, accéder à la documentation, faire des recherches dans les fichiers logs et les comptes rendus d'intervention, etc. ...

La plate-forme IIoT doit permettre de développer tout type de tableau de bord afin de visualiser et traiter les données collectées à partir de périphériques Edge et d'équipements, mais également à partir des applications déployées sur site et / ou dans différents Clouds.

Ces tableaux de bord personnalisés permettent d'afficher des données de production et des indicateurs de performance. L'intérêt est de partager les mêmes vues cohérentes pour tous les utilisateurs. Ces tableaux de bord sont parfois implantés sous la forme d'écrans physiques installés au niveau de l'usine ou des lignes de fabrication. On les trouve de plus en plus déportés au niveau d'application mobile.



**Figure 5**  
Exemple de tableaux de bord IoT

De nos jours, ces tableaux de bord prennent en charge de nombreux périphériques tels que Android / iOS, Microsoft HoloLens, lunettes Vuzix AR ou Oculus Go Virtual Reality.

La **gestion des actifs (*Asset Management*)** regroupe les activités et les pratiques visant à suivre le cycle de vie et les changements d'états d'un portefeuille d'actifs opéré par une entreprise. La gestion des actifs aide à identifier et à prioriser les actions nécessaires à prendre (planifications) et permet de fournir des états cohérents et à jour sur les inventaires, les configurations, les contrats et les plans associés, ... C'est un outil important de pilotage, de mesure et de contrôle.

La **gestion de la maintenance (*Maintenance Management ou GMAO*)** permet de suivre les activités de maintenance, les travaux des équipes et l'état des équipements en termes d'historique des configurations. Recourir à une GMAO (gestion de maintenance assistée par ordinateur) vous assure que votre équipement restera dans un excellent état de fonctionnement, évitant ainsi les réparations imprévues et les temps d'arrêt non souhaités.

Bien que la gestion de la maintenance et celle des actifs soient techniquement différentes, elles restent indissociables et inter-opèrent de façon homogène.

La gestion de la maintenance aide à accroître la durée de vie des équipements et s'assure de leur bonne performance, tandis que la gestion des actifs permet d'analyser toutes les données nécessaires à l'exécution des tâches sur les équipements eux-mêmes.

## 1.5 Adopter l'IoT pour améliorer les processus de fabrication

Digitaliser les processus de fabrication grâce au concept de plateforme IIoT nécessite de définir une feuille de route (Roadmap) composée de **quatre grandes étapes** :

- **Collecte des données** : les données peuvent venir des systèmes classiques tels que GMAO, GED, MES, ERP mais aussi des équipements, des robots et des capteurs - la collecte implique de pré-traiter la donnée (décodage, agrégation, nettoyage, filtrage) et de l'exposer de manière exploitable aux applications analytiques ;
- **Visualisation** : à l'aide de tableaux de bord, d'interfaces utilisateur permettant de visualiser de manière intuitive les données mais aussi les résultats des modèles tels que les scores de santé et de confiance prédits ainsi que les recommandations associées ;
- **Approche Analytique** : grâce à la mise en œuvre de modèles mathématiques spécifiques à l'industrie et permettant de mieux prédire, recommander, planifier ou déterminer des optimums de production ; plusieurs familles de modèles existent telles que la statistique descriptive, les approches neuronales ou stochastiques, les graphes de connaissance. A chacune de ces familles, il est possible d'ajouter une dimension *Machine Learning* ou *Deep Learning*.
- **Cognitif (et IA)** : le cognitif est une discipline de l'IA qui apporte de nouvelles manières de traiter l'information non structurée comme l'image, la vidéo, le son ou le texte- les techniques d'apprentissage du *Machine Learning* et du *Deep Learning* améliorent la précision et les score de confiance des algorithmes. Dans un système cognitif, pour résumer, nous pouvons affirmer qu'il y a toujours 3 étapes : Comprendre, Raisonner et Apprendre.

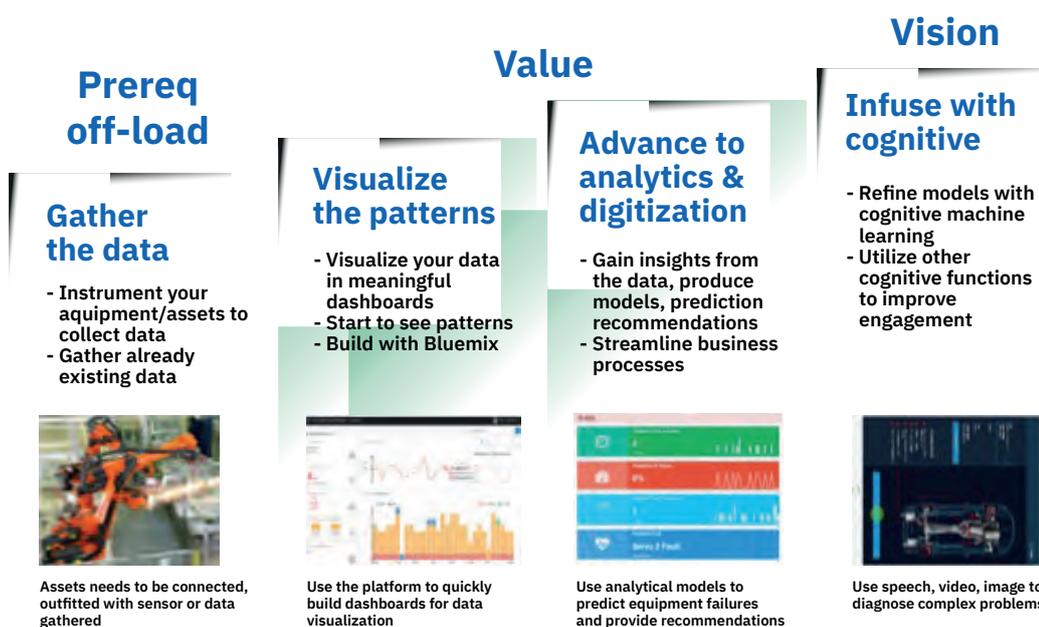


Figure 6 : Roadmap Analytique et IoT

**Les avantages attendus d'une telle feuille de route sont les suivants :**

- **Gains de productivité** : Efficacité et rendement accrus, suppression des activités non créatrices de valeur ajoutée ;
- **Prévention de défaillance** : Augmentation du taux de rendement global (TRS) en diminuant les pertes, les pannes et les retours de production de produits défectueux ;
- **Flexibilité** : Masquage de la complexité, (re)configuration diminuée, intégration simple et rapide de plusieurs dimensions dans une seule solution (visualisation, analytique, suivi des lignes de fabrication, TRS mesuré localement et globalement, etc....

## 1.6 Optimiser la fabrication par une architecture à trois couches

Dans l'industrie manufacturière, la méthode recommandée est d'adopter une architecture distribuée à trois couches (atelier, usine et entreprise). Un bon modèle d'architecture prend en compte les exigences en termes d'autonomie et d'autosuffisance des sites de production et cherche à **équilibrer** les traitements entre les différentes couches (ateliers, usines et entreprise).

Les équipes en charge de l'architecture ont pour mission de réduire le couplage entre les couches et les composants, tout en assurant le maximum de cohésion fonctionnelle au niveau de chaque composant (une approche micro-service peut être pertinente à ce stade).

L'enjeu est vraiment de minimiser l'impact en cas d'évolution et de changements qu'ils soient prévus ou non tels que l'ajout d'un nouvel équipement, une modification d'un format de données, un changement de règles dans les plans de fabrication, une modification des procédures de diagnostic et de réparation, etc. ...

Pour mettre en place un bon modèle d'architecture Industrie 4.0, il est essentiel d'adresser deux problématiques d'intégration qualifiées respectivement de **verticale** et d'**horizontale**.

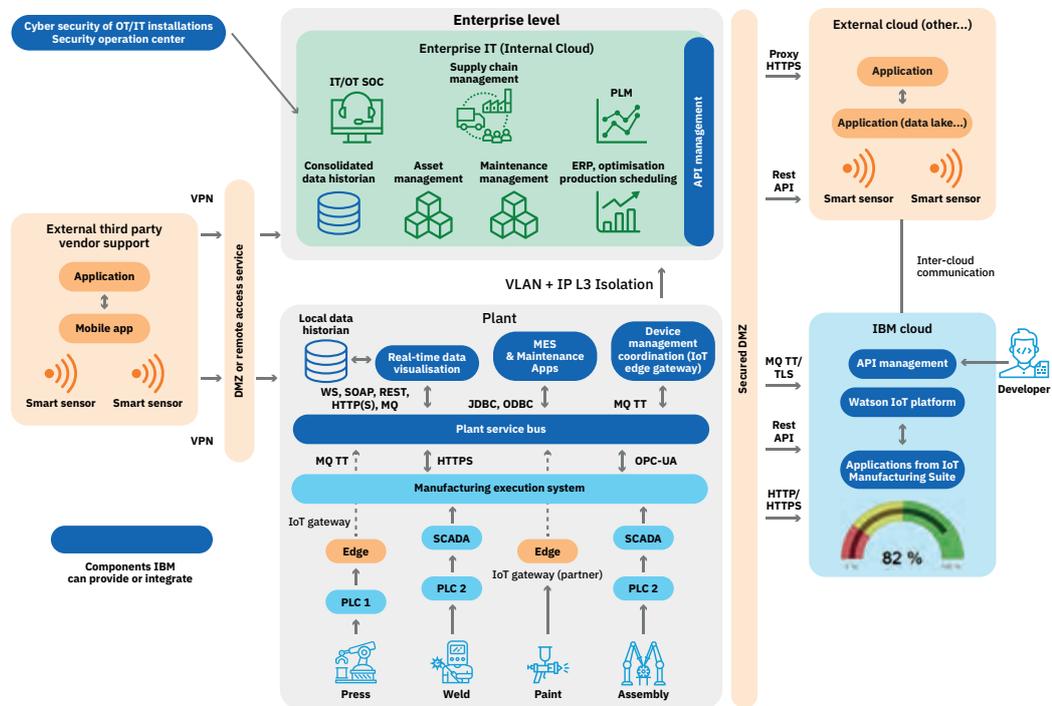
Le diagramme ci-dessous décrit ce problème d'intégration dans un contexte de production industrielle.

Au niveau du matériel et des équipements, l'information est traditionnellement compartimentée dans la couche de contrôle et est accessible grâce à différents protocoles spécifiques du secteur industriel (par exemple OPC, OPC-UA, Skid, Bacnet, Profibus et EtherNet/IP).

Elle peut aussi être présente dans les systèmes de gestion de fichiers, les gestions documentaires (GED) ou les bases de données de production utilisées par les différents applicatifs (ERP, MES, ...)

## Extension de l'usine avec une plateforme IIoT et un bus d'intégration

**Figure 7 :**  
Extension de l'usine  
avec plateforme  
IIoT et bus  
d'intégration



Le plus souvent, afin de capter les données manquantes nécessaires aux analytiques, il convient d'ajouter une instrumentation additionnelle à certains équipements existants, par exemple des capteurs acoustiques ou visuels, du RFID pour le passage des robots, du SIGFOX pour la géolocalisation *Outdoor* ou *Indoor* de conteneurs ou de chariots ...

Afin de résoudre le problème d'intégration horizontal, la meilleure méthode consiste à exposer des services basés sur des bus de communication et d'intégration couplés à des passerelles permettant de connecter ensemble les réseaux OT et IT. A ce titre, une section de ce document traite de l'intérêt de mettre en place un bus d'intégration et en particulier la solution PSB (Plant Service Bus)

Le modèle d'architecture retenu, décrit ci-dessous, propose une solution basée sur trois niveaux :

- **au niveau de l'atelier (Edge et Shop Floor Level),**
- **au niveau de l'usine (Plant Level),**
- **au niveau de l'entreprise (Enterprise et Cloud Level)**

Au niveau de chaque usine, il est recommandé de mettre en place un bus de communication et d'intégration (communément dénomé *Plant Service Bus* ou *Service Bus*), afin de gérer la connectivité avec le cloud et la connectivité avec l'environnement physique (PLC, SCADA, Skid, OPC et Edge) et les applications IT. Le bus est une solution logicielle à déployer localement ou en mode Cloud, suivant les contraintes et les règles de sécurité imposées par les normes de production.

En complément du bus, il est recommandé de déployer ce que l'on appelle les **Edge Analytics**. Les *Edge Analytics* sont des traitements logiciels spécifiques chargés de pré-traiter la donnée brute des équipements (décodage, filtrage, agrégation, etc. ...) et en général déployés à l'intérieur des boîtiers physiques de type passerelles (*IoT Gateway*) ou concentrateur (*IoT HUB*). On parlera alors de déploiement dit « *At The Edge* ».

Ces boîtiers sont chargés de connecter au plus près le réseau OT au réseau IT et de transformer les signaux et événements émis par le système PLC/SCADA en données numériques sécurisées visibles sur le réseau informatique et par conséquent pouvant être traités par les *Edge Analytics* contenus dans ces mêmes boîtiers.

Dans un second temps, il convient de déployer les applications métiers spécifiques à l'Industry 4.0 telles que la gestion des actifs, la gestion de la maintenance, le contrôle du TRS ou la maintenance prédictive. Certaines de ces applications peuvent d'ailleurs nécessiter l'installation de composants locaux au niveau atelier (« *At The Edge* ») ou en usine (« *Shopfloor* »).

L'infrastructure nécessaire à l'exécution et au déploiement de ces applications peut être prise en charge par une combinaison de différents Cloud ou d'installations locales dans un modèle hybride. Le niveau d'hybridation doit être déterminé en fonction des exigences non-fonctionnelles et l'équilibre est à trouver en fonction des éléments suivants : haute-disponibilité, coûts et budget, confidentialité des données, temps de latence réseau, performance, efficacité souhaitée des traitements analytiques.

IBM est très flexible en termes de modèles de déploiement dans le cloud. En plus des composants installés « *At The Edge* », notre stratégie consiste à tirer parti des technologies *Open Shift*, *Docker* et *Kubernetes* pour faciliter le déploiement des composants dans un mode hybride multi-cloud.

**ICP (IBM Cloud Private)** est une solution IBM de gestion des déploiements dans des environnement cloud hybride, exploitant Docker et Kubernetes. ICP est une plate-forme permettant de développer et de gérer des applications "conteneurisées". Il s'agit d'un environnement intégré pour la gestion des conteneurs, qui inclut le gestionnaire *Kubernetes*, un référentiel d'images type, une console de gestion et des infrastructures de surveillance.  
<https://www.ibm.com/cloud/private>

Comme indiqué précédemment, pour de nombreuses organisations, la tendance est de passer à une approche dite cloud hybride. A ce titre, IBM et Red Hat ont annoncé unir leurs efforts pour accélérer la modernisation des applications et le développement dans le cloud :  
<https://www.ibm.com/cloud/partners/ibm-redhat>

### 1.6.1 Principes de l'architecture étendue à trois couches

Une fois le middleware de l'usine et les composants techniques déployés, en particulier le bus de connectivité Plant Service Bus (PSB) et les passerelles additionnelles de type Gateway IT/OT, il est important de commencer à se préoccuper des applications dites 'métier'.

Nous constatons que de nombreuses usines sont déjà équipées, parfois d'un MES ou d'un logiciel de gestion de maintenance (GMAO), mais il existe des situations où le MES est basé sur des développements anciens, peu adaptés à évoluer, et où la maintenance se fait encore parfois à l'aide de processus basés sur le papier.

De plus d'autres applications seraient pertinentes à déployer en complément des MES ou GMAO afin de moderniser les processus de fabrication : gestion du LEAN et digitalisation des linéaires papier en bord de ligne, digitalisation des documentations technique, maintenance prédictive, modernisation des écrans de suivi des activités, assistance intelligente aux opérateurs pour les activités de diagnostic et de réparation, ...

Dans notre propos, tous ces exemples sont regroupés sous le terme d'applications dites 'métier'. Elles contribuent à gagner en productivité pour les équipes, à augmenter le temps de disponibilité, à réduire les temps d'arrêt et à apporter de la flexibilité pour reconfigurer dynamiquement les équipements de l'atelier.

La suite IBM **Watson IoT** for Manufacturing regroupe de nombreuses applications métier industrielles qui peuvent toutes être mises en œuvre indépendamment ou, si nécessaire, remplacer certaines applications obsolètes.

Dans tous les cas il est nécessaire de débiter par un inventaire des difficultés (perte de rendement, manque efficacité opérationnelle, augmentation des coûts de maintenance,...) une revue du parc applicatif ainsi que des sources de données disponibles.

Très souvent, les directeurs d'usine et leur équipes IT/OT devront s'engager dans un projet d'intégration combinant un axe IT, OT et cybersécurité.

A ce titre, notre conseil est de débiter les réflexions par un inventaire des KPI à améliorer, de recenser les difficultés des utilisateurs par priorité, lister les cas d'usage et de les projeter sur l'architecture à 3 couches décrite précédemment (*Edge et Shopfloor, Usine et Entreprise*).

Lors de cette activité de projection, il convient de détecter s'il est nécessaire d'ajouter ou de remplacer des applications, étendre les infrastructures avec du logiciel de type "middleware" (bus, passerelles IT/OT) ou de remplacer / moderniser des lignes de fabrication (robots, ...)

## 1.6.2 Capacités de la suite IBM Watson IoT for Manufacturing

Afin d'implémenter les cas d'usage identifiés dans les phases initiales de réflexion, IBM propose une suite logicielle appelée Watson IoT for Manufacturing offrant les modules suivants :

- IBM Maximo APM - Equipment Maintenance Assistant
- IBM Maximo PQI - Acoustic Insights
- IBM Maximo PQI - Visual Insights
- IBM Maximo Production Optimization
- IBM Maximo Production Quality Insights
- IBM Prescriptive Warranty for Manufacturing

**IBM Maximo Production Optimization** : Analyse les données générées par les équipements afin de mesurer la valeur du TRS (performance, qualité et disponibilité), détecte les facteurs qui entraînent une perte de productivité, anticipe les pannes et donne des recommandations (remédiations, demandes d'inspection...). La solution utilise massivement l'analyse de données.

**IBM Maximo Production Quality Insights** : Identifie et gère les risques liés à la fiabilité des actifs qui pourraient avoir une incidence défavorable sur les activités de l'usine ou de l'entreprise. Utilise l'analytique prescriptive pour améliorer la qualité des processus de fabrication, des matériaux, des composants et des produits.

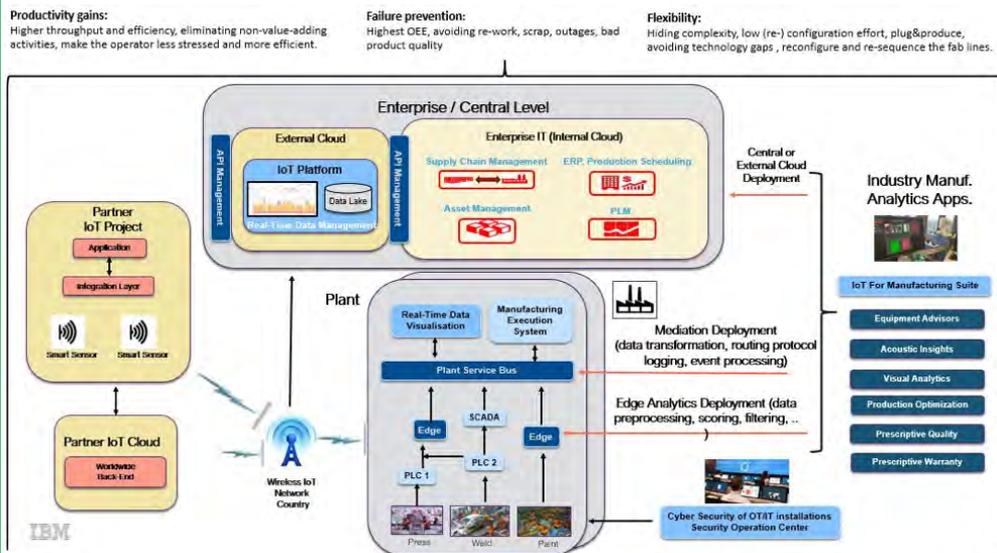
**IBM Prescriptive Warranty for Manufacturing** : Identifie les conditions responsables de l'accélération de l'usure des produits, diminuant ainsi les réclamations sous garantie et les pertes liées.

**IBM Maximo PQI - Visual Insights** : Identifie les défauts liés à la qualité des produits par l'inspection visuelle cognitive, améliore le rendement des processus et permet de détecter au plus tôt les problèmes.

**IBM Maximo PQI - Acoustic Insights** : Détecte des défauts sonores sur les équipements (vibration, ...) en utilisant des algorithmes de traitement du signal étendu par Machine Learning.

**IBM Maximo APM - Equipment Maintenance Assistant** : Assiste les équipes sur le terrain dans les activités de diagnostic, de réparation ou tout autre processus de maintien en conditions opérationnelles. Utilise l'analyse de données non-structurées (documentations, procédures, gammes, ...) et le Machine Learning pour améliorer l'efficacité des prédictions et des prescriptions. Supporte les arbres de diagnostic et permet de les enrichir par l'apprentissage en analysant les retours des techniciens.

Figure 8  
Architecture étendue  
avec les solutions IBM



### 1.6.3 Conseils et règles de mise en place de l'architecture

Nous aimerions partager les perspectives et les pratiques suivantes pour chacun des composants cités de l'architecture :

- Plant Service Bus (PSB) :** PSB est un acronyme désignant en général les bus logiciels chargés de surveiller, orchestrer, et transformer des flux de données entre les applications de l'usine. Il permet de router les protocoles, transformer des formats de données, exposer des interfaces standardisées aux différentes applications ou passerelles de connectivité (IT/OT Gateway). Un bus offre des connecteurs aux SCADA ou passerelles OT/IT et permet de concevoir en général de manière aisée la logique d'intégration, les règles d'agrégation, de filtrage, de complétion et le mapping entre les sources de données.

Il offre la connectivité vers les protocoles OPC à travers la famille de connecteurs regroupée chez IBM dans l'offre 'Integration Bus and Manufacturing Pack'.

Le PSB doit être mis en place très tôt dans les projets. Il est de nos jours considéré comme une condition préalable avant le déploiement des applications métier (maintenance, TRS, visualisation et pilotage, ...). Les bénéfices attendus sont de réduire le couplage entre les applications consommatrices et les fournisseurs de services en encapsulant la logique d'intégration dans un endroit unique de l'architecture.

- Enterprise Service Bus (ESB) :** Afin d'orchestrer, gouverner et faciliter la transformation des flux de données entre les usines et les différents fournisseurs de cloud, un ESB peut être pertinent. Du point de vue des capacités, un ESB a le même rôle qu'un PSB (Plant Service Bus) et peut être implémenté par le même type de solution. Les ESB continuent à être très populaires dans les directions informatiques : il est fréquent de les retrouver déployés en central, souvent pour orchestrer les flux entre les ERP du SI avec les applications développées spécifiquement. L'un des patterns adoptés est de trouver dans les usines un PSB communiquant avec un ESB en central, les deux composants étant compatibles au niveau de leur protocole. Comme indiqué, le PSB possèdera des capacités supplémentaires par rapport à un ESB pour supporter les protocoles de l'usine (Skid, OPC, Modbus, ...)

- **Plateforme IoT** : Il est fortement recommandé de s'appuyer sur une plate-forme IoT afin de supporter les modèles analytiques à implémenter, typiquement lorsque l'on cherche à instrumenter les équipements existants avec des capteurs additionnels. La plateforme IoT hébergée par IBM permet de stocker les données non-structurées venant des objets connectés, élaborer des tableaux de bord, intégrer des modèles analytiques et gérer le cycle de vie des API. La plateforme peut être alimentée par de multiples sources de données venant des usines ou des applications en central, ainsi que s'interconnecter avec d'autres fournisseurs cloud (Azure, etc. ...)
- **Edge Analytics** : Il est important de déployer une partie des traitements au plus près des équipements « *At The Edge* » en général pour plusieurs raisons : nécessité d'un délai de traitement et réaction rapide, pré-traiter l'information afin d'améliorer l'efficacité des analytiques embarquée et enfin réduire les allers-retours coûteux vers le niveau central (réduction de consommation de bande-passante). Le « *Edge* » peut être logiciel ou matériel ou souvent une combinaison des deux. Il est connecté au dispositif physique (robot,...) directement ou par l'intermédiaire d'une passerelle ou d'un PLC / SCADA.

Les traitements analytiques sont préparés en central, déployés et exécutés à distance dans les «*Edge*» (passerelles, device,...). Suivant les besoins, un traitement analytique est un programme à base de règles déterministes dans les cas les plus simples, ou un modèle mathématique utilisé en IA et pré-entraîné. Par ces deux approches, il devient alors possible de traiter un grand nombre d'évènements ou de données en provenance du dispositif physique et évaluer rapidement une anomalie ou éliminer un défaut potentiel sur la ligne. A titre d'exemple, le service d'évaluation et de classification d'images *Visual Insights* fonctionne «*At The Edge*» de manière à fournir rapidement un score de confiance. Le modèle est entraîné en central et déployé ensuite «*At The Edge*».

Nous pouvons également d'utiliser des services « *At The Edge* » afin d'agrèger ou filtrer de grands volumes de télémessure, évitant des transmissions inutiles, seule la valeur résiduelle étant envoyée en central par l'intermédiaire du bus PSB.

En général, la réflexion doit chercher à tendre vers le meilleur compromis à obtenir entre un déploiement local ou en central des traitements. En effet, il est important de prendre en compte les considérations liées aux opérations et coûts associés lorsque l'on doit gérer un grand nombre de «*Edge*» dans plusieurs ateliers, usines et pays. Déployer localement un traitement analytique nécessite de pouvoir automatiser les mises à jour et mesurer les performances. A ce titre, il existe plusieurs technologies (SDK et Execution Engine) potentiellement capables d'implanter l'Edge Analytics sur le marché (exemple : Apache Edgent)

- **Système MES local (Manufacturing Execution System)**: Ce système est en général déjà en place pour la planification et l'exécution des plans de fabrication. Dans un projet Industrie 4.0, il est souvent considéré comme une hypothèse de travail car déjà présent et on devra l'intégrer dans la solution finale.

Le système MES ainsi que l'application de maintenance sont potentiellement connectables au PSB pour la transformation des flux de données et l'interconnexion des protocoles. Le PSB va ainsi contribuer à réduire le niveau de couplage de l'architecture globale typiquement entre les ERP et les MES. En effet, il existe généralement un ERP au niveau informatique central qui prépare les plans et batch pour toutes les usines. L'ERP envoie les plans au MES à travers le bus PSB, ce qui permet ainsi de superviser et d'auditer les flux.

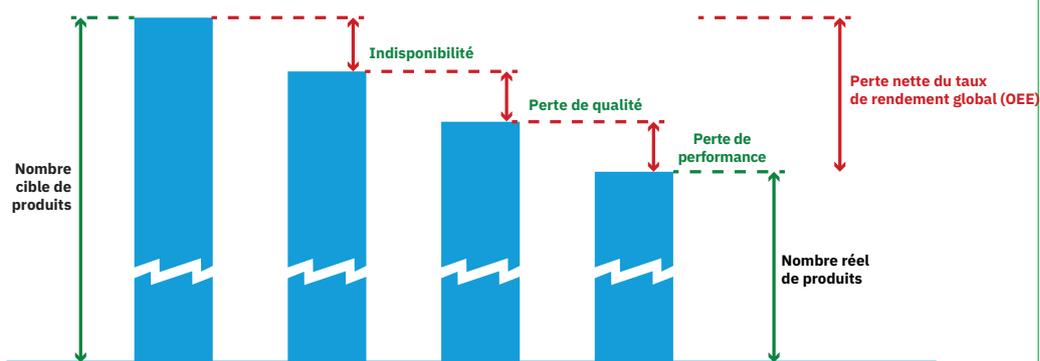
- **Local Plant Maintenance (Asset Management)** : Ensemble de capacités logicielles accessibles depuis l'usine et connectées à la GMAO permettant de gérer la maintenance des actifs, les applications mobiles pour les opérateurs (gestion des demandes de travaux), plannings, consultations et exécution de procédures d'exploitation, historiques d'intervention, aide au diagnostic et à la réparation.
- **Applications industrielles dites « Métier »** (*Visual Inspection, Acoustic Insights, Quality and Warranty Insights, Equipment Maintenance Assistant, ...*) sont des exemples d'applications industrielles comprises dans la suite Watson IoT For Manufacturing. Ces applications sont décrites dans la section 4 de ce document : Applications industrielles.
- **TRS : Taux de Rendement Synthétique (OEE)** :

Cet indicateur est essentiel et fait partie des standards internationaux du manufacturing (ISA 95 ...). Il est calculé sous forme d'un pourcentage et basé sur la multiplication de 3 facteurs, à savoir : Performance \* Qualité \* Disponibilité.

La performance est l'atteinte des objectifs de production (nombre de produits / unité de temps / lignes / usines). La qualité est l'adéquation au standard de production. La tendance actuelle est de la mesurer idéalement en temps-réel et au plus près des lignes de fabrication (voir exemples). Quant à la disponibilité, il s'agit du taux d'occupation utile des lignes de fabrication.

Le **TRS** ou l'**OEE** cherchent à s'attaquer aux freins à la productivité en analysant les données générées par les contrôleurs de machine, les capteurs et les systèmes transactionnels afin d'offrir une visibilité sur les facteurs qui contribuent à la diminution de l'OEE. Il mesure les rendements (production réalisée / objectifs) ainsi que la qualité des produits par des tableaux de bord visualisant les historiques et alertant en cas de tendance négative.

Récemment, les solutions TRS se sont enrichies en étant capable de prédire la probabilité statistique des défaillances d'équipement, des arrêts de production et des ralentissements de lignes robotique. Ces solutions permettent de quantifier l'impact des défaillances potentielles sur la valeur du TRS, puis d'identifier les causes des incidents et proposer des plans de remédiations et de maintenance optimisés.



Les contraintes liées à la disponibilité, à la qualité et au rendement contribuent à la perte de l'OEE, qui se traduit par une baisse du taux de production.

**Figure 9**  
Définitions OEE/TRS :  
Performance \* Qualité \*  
Disponibilité

- Plateforme IoT externe (ou partenaire) :** Comme expliqué, la tendance observée est d'ouvrir le système de production pour faciliter l'exposition des données/services aux partenaires. Chaque entreprise collabore avec des partenaires pendant la fabrication (livraison de pièces, sous-traitance pour la maintenance, fournisseurs de robotiques, ...). L'une des meilleures méthodes consiste à utiliser un gestionnaire d'API pour pouvoir exposer, consommer et mesurer les services permettant l'interopérabilité. Les API sont généralement supervisées par une application spécifique qui gère les contrats de service associés : pour plus de détails, consultez la section « Gestion d'API » ci-dessous. Pour améliorer la sécurité et garder une cohérence globale de l'architecture, l'exposition des API se fait, en général, aux niveaux ESB ou PSB.
- Gestion des API (interne) :** Solution logicielle permettant d'exposer, orchestrer et mesurer les performances d'un portefeuille d'API. Les API sont développées afin d'accéder aux applications puis associées à des contrats de service et règles de sécurité et au final, déployées sur le gestionnaire d'API. Les consommateurs appellent les API une fois exposées. Le contrat ou SLA définit les engagements à respecter par le consommateur du service mais aussi pour le développeur en termes de nombre d'appels par période de temps, fréquence, temps de réponse, ...
- Gestion des API (externe) :** Même approche que le gestionnaire interne mais l'ouverture des API se fait également, à l'extérieur de l'entreprise et des usines.

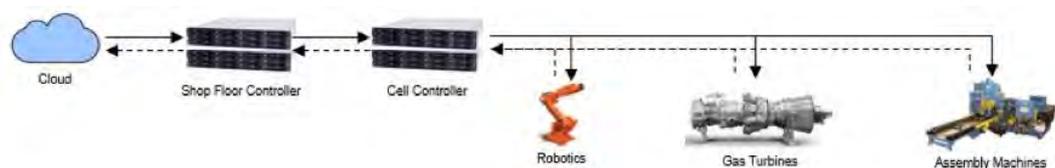
## 2. Edge Analytics

Comme expliqué précédemment, de nombreuses organisations cherchent à adopter une stratégie IIoT totalement agnostique dans le domaine des passerelles, des réseaux et des périphériques. Minimiser les dépendances avec les équipements et standardiser les interfaces est devenu un objectif à part entière.

Le bénéfice attendu est non seulement d'assurer l'interopérabilité avec les équipements et faciliter les évolutions, mais aussi pouvoir définir l'architecture de la solution *Edge* d'un point de vue logiciel (concept de *Software Defined*).

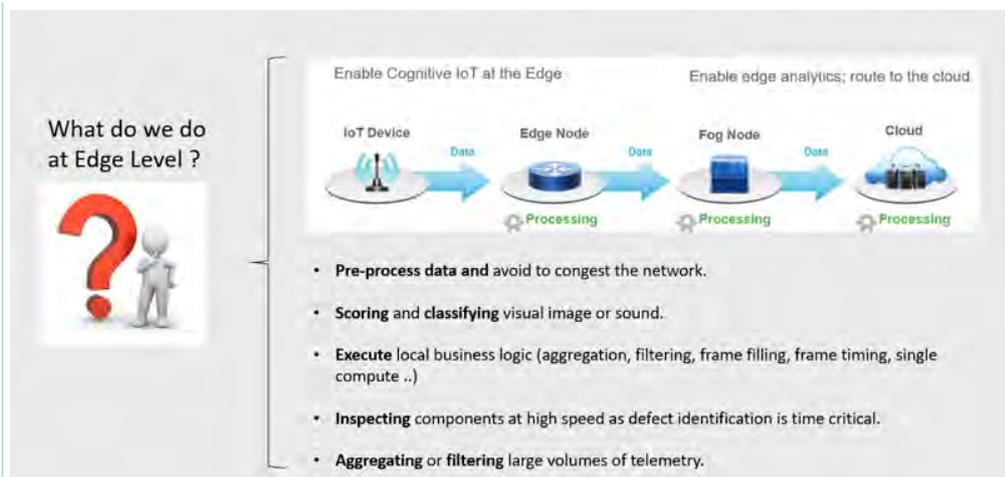
Cette flexibilité et cette interopérabilité ne peuvent être atteintes qu'à partir d'une réflexion globale sur l'architecture OT et IT, comme décrit dans les précédents chapitres.

**Figure 10**  
Illustration du "Edge"  
dans un contexte  
industriel



Bien qu'IBM ne soit pas présent sur le marché des "devices" et des équipements physiques, IBM possède de nombreux partenaires travaillant dans le domaine des lignes de fabrication, de l'IoT ou des passerelles de connectivité OT, tels que ABB, KUKA, EnOcean, Intel, Cisco, Schneider, Hilscher, Festo, Minitec, TE, Softing, PRO ALPHA SIGFOX, etc. (liste non exhaustive).

**Figure 11**  
Principes Edge  
Analytics



**IBM dans  
le "Edge" ?**

## IBM et Cisco : L'IoT cognitif à l'ère de l'Edge Computing

IBM et Cisco entretiennent une relation privilégiée qui a vu le jour il y a sept ans et comprend plusieurs axes : transformation des usines, développement de solutions de type « Edge » en commun, et services liés aux activités de transformation. Cisco et IBM peuvent fournir une plateforme de bout-en-bout offrant une approche hybride de l'analytique IoT « At The Edge » combinée avec le cloud d'IBM et la plate-forme IIoT.

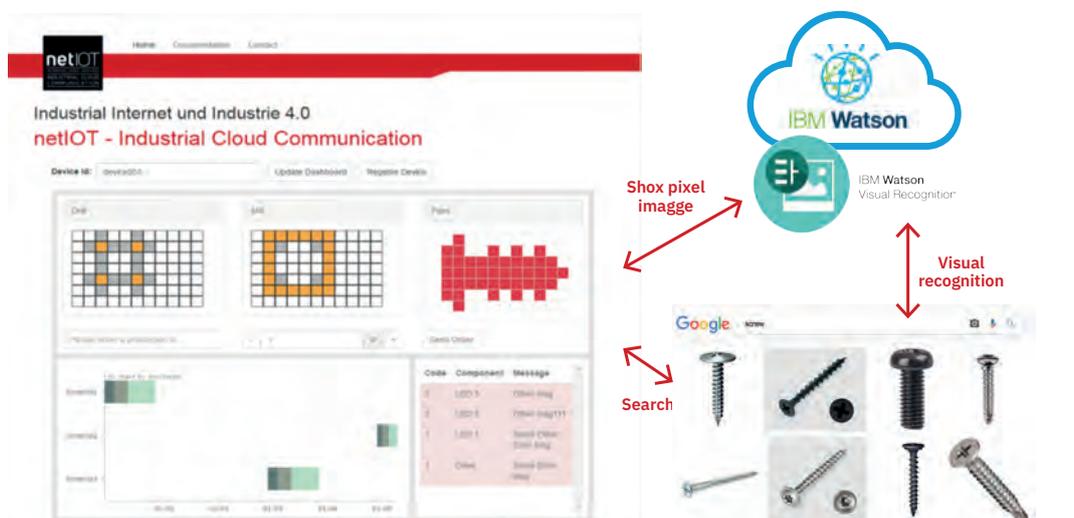
Avec cette solution commune, il est possible d'analyser les performances à l'emplacement du lieu de collecte des données dans le réseau IT/OT.

**KUKA Robotics** : Le partenariat entre IBM et KUKA améliore les opérations et les processus de fabrication grâce à la robotique adaptative. <http://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/adaptive-robots-watson-kuka/>

**Exemple de technologie Open Source pour l'Edge Analytics** : Apache Edgent est à la fois un modèle de programmation et un environnement d'exécution de type micro-kernel que l'on peut utiliser pour développer des programmes et modèles déployables dans le « Edge » ou de passerelles IT/OT. <http://edgent.apache.org/>

**Exemple** : La plateforme Sierra Wireless Legato® est la combinaison d'une distribution basée sur Linux, d'un BSP, d'un outil de développement personnalisé et d'une librairie d'API permettant le développement de code embarqués sur des dispositifs IoT. [www.sierrawireless.com/products-and-solutions/embedded-solutions/open-source-initiatives/](http://www.sierrawireless.com/products-and-solutions/embedded-solutions/open-source-initiatives/)

**Hilscher** : Partenaire fournissant des passerelles de connectivité IT/OT. Partenariat avec IBM pour un Digital Twin (Jumeau numérique) basé sur les règles Hilscher netIOT CPS : Intégration et collaboration de systèmes cyber-physiques dans le cadre de l'architecture Industrie 4.0 d'IBM. Intégration bidirectionnelle s'appuyant sur Watson Visual Insights.



**Figure 12**  
Collaboration entre Hilscher et IBM pour l'Edge computing

**SIGFOX** : SIGFOX est l'un des plus grands fournisseurs de services IoT, opérateur sans-fil à faible consommation énergétique. Sigfox diminue le coût et la consommation énergétique nécessaire pour connecter en toute sécurité les capteurs IoT au cloud. Avec la solution SIGFOX, peu d'énergie est nécessaire pour collecter et transmettre les informations depuis l'objet connecté jusqu'au niveau entreprise ou cloud.

Le réseau SIGFOX est compatible et fonctionne avec la plateforme IBM Watson IoT. Certaines collaborations récentes entre SIGFOX et IBM ont permis de mettre en place différents cas d'utilisation : gestion/suivi des conteneurs de la Supply Chain, surveillance/maintenance de l'infrastructure et gestion des installations.

**Partenariat entre ABB et IBM pour les solutions d'intelligence artificielle** : ABB et IBM ont annoncé une collaboration stratégique entre les solutions ABB AbilityTM et IBM Watson IoT afin d'accélérer l'adoption de l'IA dans l'industrie : [www.03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52154.wss](http://www.03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52154.wss)

**SmartFactory<sup>KL</sup>** : Usine de référence en Allemagne sur Industrie 4.0 : Première usine de l'Industrie 4.0 indépendante au monde gérée par un réseau de partenaires, elle est la principale composante de l'un des cinq centres de compétences Mittelstand 4.0 annoncés par le ministère allemand de l'économie et de l'énergie (BMWi).

Elle bénéficie en outre des contributions d'IBM couvrant tous les aspects de l'architecture de référence de l'Industrie 4.0, l'intégration des machines avec l'offre PSB, le jumeau numérique de la ligne de production, la présence d'analytique prédictive.

**Figure 13**  
SmartFactory<sup>KL</sup>



## Transparency and Visualization in real time

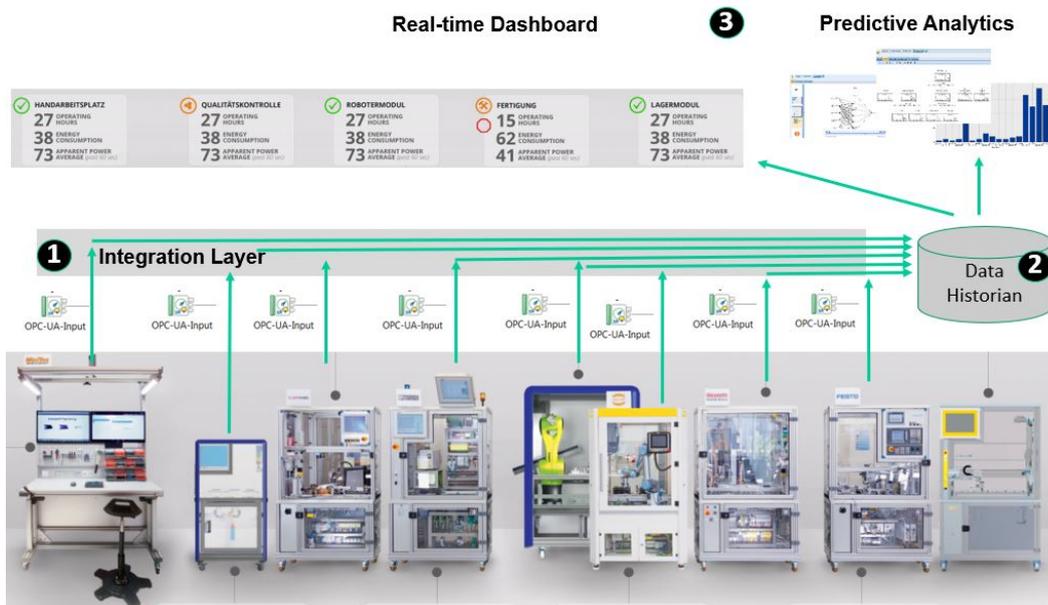


Figure 14  
Partenaires Industrie  
4.0 du projet  
SmartFactory<sup>KL</sup>

Connecté aux passerelles IT/OT, aux SCADA ou aux « Edge », le composant Plant Service Bus standardise les communications (gestion de protocole, flux de médiation, supervision, exposition d'API et de services).

Le nombre de connexions point- à-point est ainsi diminué. La solution devient plus évolutive, cohérente et modulaire par la réduction globale du niveau de couplage. Il est alors possible de masquer les interfaces propriétaires des applications en créant une double interface (principe d'encapsulation des interfaces).

Très souvent il est nécessaire de définir un format pivot pour les données manipulées par les interfaces. La bonne pratique consiste alors à concevoir un modèle de données persistant qui sera exploité au niveau du bus et partagé par toutes les interfaces ayant besoins d'y accéder.



Figure 15  
Tableau de bord de  
SmartFactory<sup>KL</sup>

### 3. Middleware de l'usine : Plant Service Bus

IBM Plant Service Bus (PSB) est un composant logiciel utilisé pour l'intégration des applications et la gestion des flux de données entre l'atelier, l'usine et l'informatique centrale. La connectivité est standardisée et modulaire, non intrusive et s'exprime sous forme de catalogues de services et de connecteurs sur les machines et passerelles.

La modélisation des workflows est graphique et intuitive et les règles sont exprimées en langage naturel, ce qui rend attractif le PSB pour les utilisateurs non-initiés. PSB permet également de tester et déployer à distance les workflows et de les exécuter sur les « Edge ».

Les workflows sont des séquences algorithmiques manipulant la notion de nœuds, variables, timers, appels API, files de message, conditions et boucles.

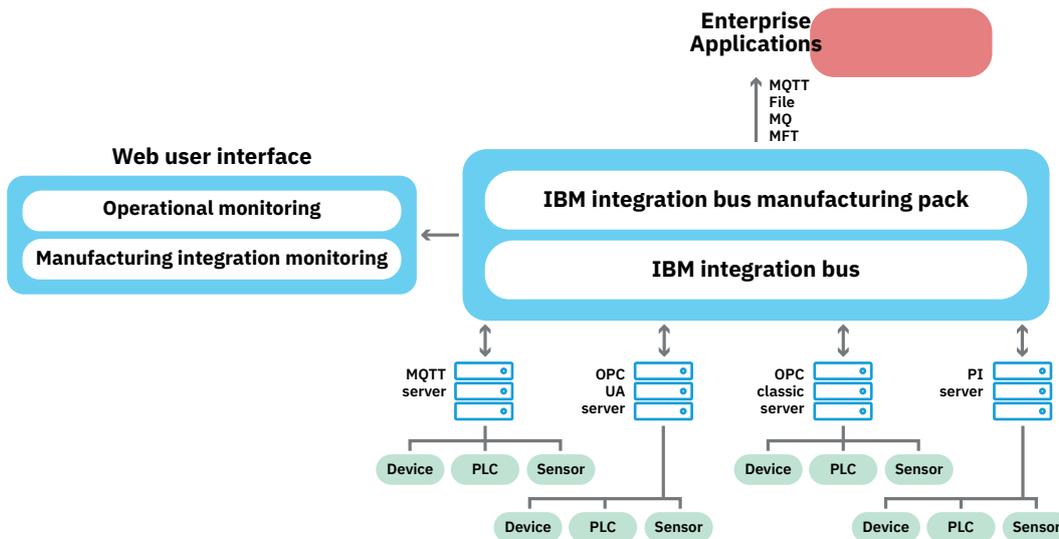
- **Transformation et connectivité** : Fonctionnalité de Service Bus : conception de la logique d'intégration sous forme de services, gestion des versions, bibliothèques de connecteurs, gestion de file d'attente, audit, supervision des flux à l'exécution, support des protocoles industriels : OPC, Skid, Modbus, etc.
- **Gestion et composition de la configuration des règles** : Langage naturel pour exprimer les règles et gestion centralisée, mise au point, outil de planification et support des principes « Plug & Produce » pour le développement d'extensions compatibles.

Figure 16  
Logique de règles  
déployées au niveau  
du PSB



Le PSB permet à ses utilisateurs de créer des règles opérationnelles exécutées dans le serveur d'intégration (figure 16). Les règles opérationnelles fournissent aux utilisateurs des moyens naturels de gérer les politiques de transformation, les prises de décision et les médiations entre applications.

Parmi les médiations et règles possibles, il est commun d'utiliser le bus pour la transcodification de bases de données, le mapping entre plusieurs formats, la transformation de protocole, le routage, la validation ou l'enrichissement de messages, l'agrégation de messages, l'audit et la traçabilité, la mesure de l'efficacité par des KPI calculés, les points de mesure, la gestion des logs, etc.



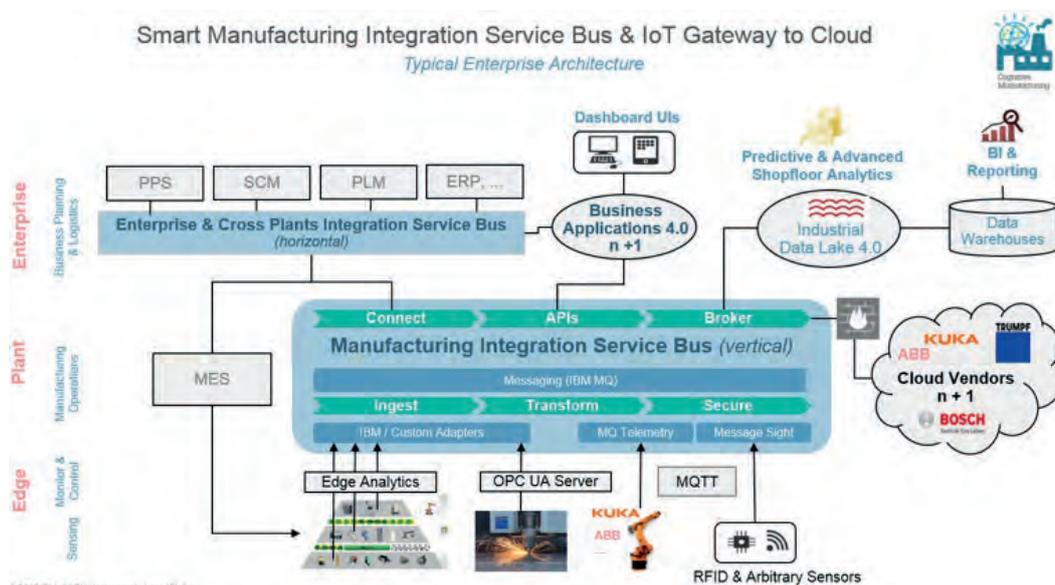
**Figure 17**  
Présentation de l'architecture PSB

La librairie de connectivité IBM® Integration Bus Manufacturing Pack est compatible avec PSB (IBM Integration Bus).

IBM Integration Bus Manufacturing Pack offre les fonctionnalités suivantes :

- Intégration des serveurs OPC et support HTTPS/S, REST, MQ, JDBC, ODBC ... ;
- Intégration de sources de données multiples (serveur PI, SAP, MES, ...)
- Utilisation du protocole de messagerie MQ Telemetry Transport (MQTT) pour mettre en place le protocole asynchrone publish/subscribe ;
- Accès aux informations concernant le statut des flux de messages déployés.

En termes de bénéfices mesurables, **Plant Service Bus** rend possible l'intégration des processus de production, la connectivité des systèmes et peut fournir des ateliers **30 %** plus rapides et **25 %** plus efficaces en matière de TRS. Il peut accélérer le processus d'automatisation en éliminant parfois près de **95 % des opérations manuelles**.



**Figure 18**  
PSB, déploiement de référence

**smartFactory<sup>KL</sup>**, la première usine indépendante de l'Industrie 4.0.  
<https://smartfactory.de/en/>

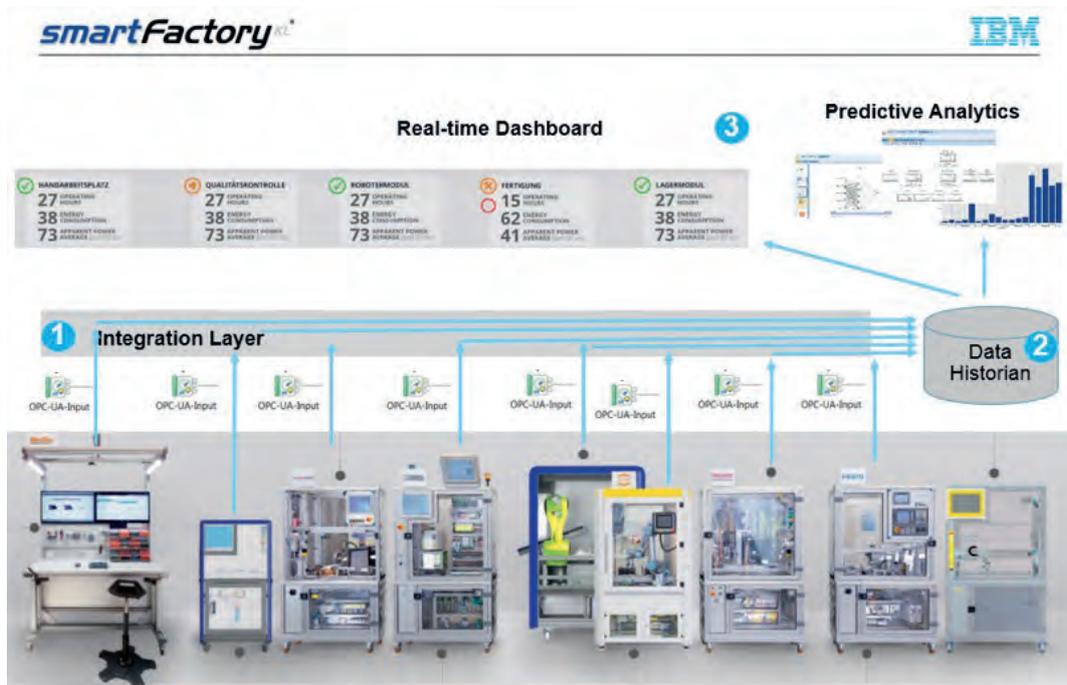
Figure 19  
SmartFactoryKL



**smartFactory<sup>KL</sup>** regroupe un réseau de plus de 45 organisations membres du secteur de l'industrie et de la recherche. Ces partenaires réalisent des projets de recherche et développement liés à l'Industrie 4.0 et à l'usine du futur.

[www.ibm.com/blogs/bluemix/2017/06/smartfactorykl-industrie-40-reference-architecture-example/](http://www.ibm.com/blogs/bluemix/2017/06/smartfactorykl-industrie-40-reference-architecture-example/)

Figure 20  
Usine SmartFactory<sup>KL</sup> :  
couche d'intégration  
prise en charge par PSB



## Industrie 4.0 et fabrication cognitive

Comme présenté au début de ce document, **IBM Watson IoT for Manufacturing** est une suite logicielle composée d'une dizaine d'applications métier adressant l'optimisation du Taux de Rendement Synthétique (TRS) dans les usines. La suite couvre de nombreux thèmes depuis le suivi des opérations, l'optimisation des assets, l'optimisation des processus sans oublier la maintenance programmée et prédictive.

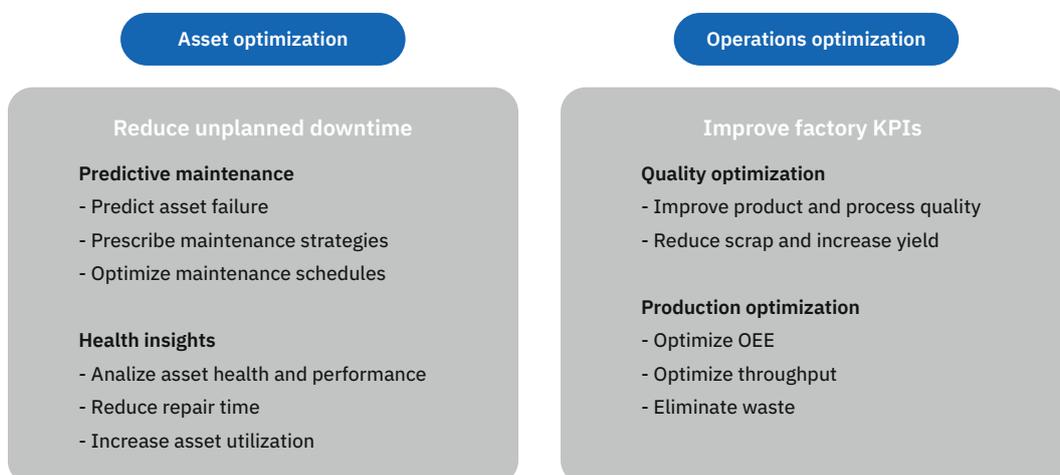
Cette suite s'appuie sur la plate-forme IoT agissant comme un socle commun pour collecter, analyser et valoriser la donnée. Chaque application peut être déployée de manière autonome.

En termes de bénéfices, Watson IoT for Manufacturing permet d'améliorer l'efficacité opérationnelle et d'augmenter à la fois les performances et la qualité de la production. Les applications de la suite utilisent l'IA et le cognitif et sont toutes auto-apprenantes (Machine Learning), ce qui est différent de l'approche traditionnelle plutôt déterministe.

**IBM Watson IoT for Manufacturing** s'adresse au directeur de fabrication, au directeur d'usine, au responsable du TRS, aux opérateurs, responsables de maintenance, ingénieurs de production ou aux techniciens.

**IBM Watson IoT for Manufacturing** est une suite logicielle qui facilite la transformation des processus de fabrication grâce à l'optimisation des actifs et des opérations. Dans cette suite logicielle, plusieurs capacités sont regroupées sous 2 catégories, l'une s'intéressant aux assets (lignes de fabrication, équipements, machines, robots, ...) et l'autre aux processus de l'usine manipulant ces assets.

- **Asset Optimization** utilise l'IoT et les capacités cognitives pour détecter, communiquer et auto-diagnostiquer les problèmes afin d'optimiser les performances et réduire l'indisponibilité.
- **Operation Optimization** permet d'optimiser les opérations par l'analyse des données des processus, opérateurs et équipements. L'objectif est d'améliorer la qualité, le TRS et faciliter la prise de décision.



**Figure 21**  
Optimisation  
des assets et  
des opérations

**Figure 22**  
Watson IoT for  
Manufacturing :  
capacités

## Suite IBM Watson IoT for Manufacturing



**Watson IoT for Manufacturing exploite différentes catégories de modèles mathématiques pour ses capacités cognitives. En voici les principes essentiels :**

- **L'apprentissage machine (ML)** regroupe un ensemble de pratiques et d'approches permettant de bâtir des modèles de classification auto-adaptatifs et auto-apprenants. Les éléments appris sont intégrés après l'exécution des modèles. Ce retour peut prendre de nombreuses formes (feedback utilisateur, gestion des biais par des variables supplémentaires, rétropropagation dans les réseaux neuronaux, enrichissement des graphes de connaissance avec de nouveaux concepts appris, valeur statistique modifiée, modifications de règles ou de l'expression du problème à optimiser,...)

La reconnaissance automatique de la parole, les services de traduction ou l'analyse du contenu d'images utilisent typiquement des modèles de *Machine Learning*.

- **IBM Watson Visual Insights** reconnaît les formes visuelles (objets, visages, équipements,...) par de l'apprentissage profond (*Deep Learning*) et cela afin d'identifier les éléments d'une image ou d'une vidéo. L'apprentissage est supervisé, des échantillons sont nécessaires pour entraîner le modèle et catégoriser ce que l'on cherche à détecter.



### 3.2 Exemple de type "At the Edge" : Cas d'utilisation, Inspection Visuelle

Exemple opérationnel de la valeur de l'apprentissage machine pour les activités d'inspection visuelle utilisées dans l'industrie automobile.

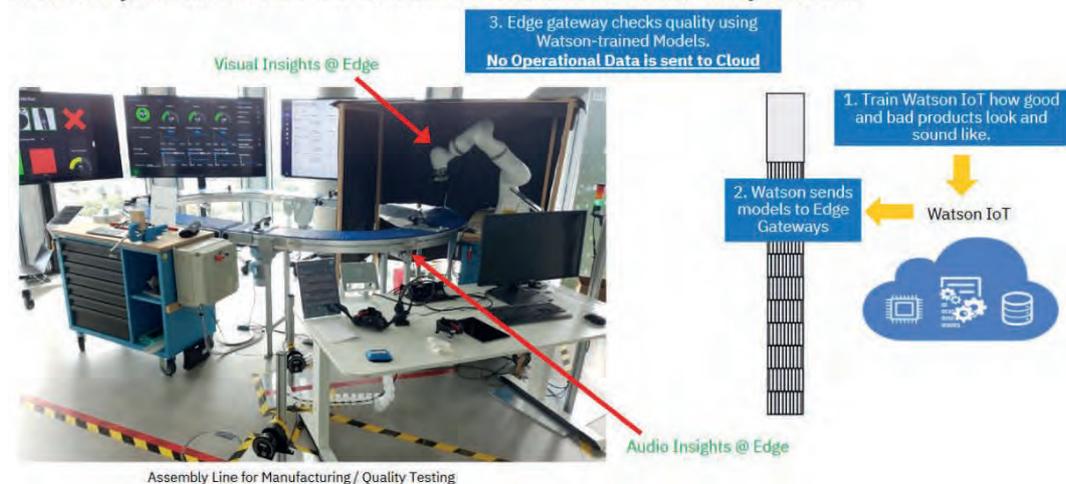
Aujourd'hui, les fabricants sont confrontés à des risques importants lorsqu'ils réalisent les inspections visuelles tout au long de la ligne d'assemblage ou de fabrication.

Un grand nombre d'inspecteurs, d'opérateurs et d'ingénieurs sont nécessaires afin d'identifier des centaines de types de défauts. Les tâches sont répétitives et coûteuses avec un risque d'erreur associée non négligeable. Une telle activité complexe qui ne serait pas automatisée de la façon la plus efficace possible exigerait des compétences, une formation et de l'expérience rare de nos jours.

Il en résulte d'importants coûts de main-d'œuvre en usine, des problèmes d'exactitude et de consistance de la chaîne d'inspection, un besoin de formation des employés alliés à des problèmes de santé potentiels pour les inspections dans les zones dangereuses.

#### Use Case: Watson IoT Edge AI Computing

Private Eyes and Ears for Predictive Maintenance and Quality Control



**Figure 24**  
Inspection visuelle  
avec Watson IBM  
Visual Insights,  
pour l'assemblage de  
poignées de porte de  
voiture

Ce démonstrateur technologique, visible au siège de l'IoT à Munich, a été conçu avec plusieurs sociétés partenaires. Les principes en sont les suivants :

- **Collecter** les données de la ligne d'équipement et les pré-traiter « At the Edge » afin de fournir un niveau de qualité acceptable (nettoyage, agrégation, filtrage).
- **Utiliser** des modèles analytiques basée sur du Machine Learning pour produire des scores de confiance précis en temps réel ;
- **Prévenir** les problèmes au plus tôt avant qu'ils ne surviennent sur la ligne de fabrication de manière précise en alertant les opérateurs de manière explicite, documentée et efficace ;

- **Améliorer** les performances globales de la chaîne de fabrication (TRS) et prolonger la durée de vie des équipements en assistant l'opérateur lors des activités de diagnostic et de réparation ;
- **Appliquer** des systèmes de raisonnement et d'apprentissage pour optimiser de manière continue l'utilisation de l'équipement.

Le système d'inspection visuelle est basé sur des algorithmes d'apprentissage machine et s'appuie sur de nombreux modèles d'inspection visuelle tels que la détection de défauts (impuretés/zones à contraste élevé/bosses), la détection et la vérification de géométrie, la texture anormale, la détection de pièces mal ajustées entre-elles, ...

Le principe repose sur l'extraction et la vérification des caractéristiques couleur/brillance pour déterminer les défauts de qualité (exemples : défaut ou dommage sur des étriers de frein, de carrosserie ou de peinture, déformation, chocs sur les pièces de rechange, rayures du tableau de bord, etc.

La solution *Visual Insights* est intégrée à la ligne d'équipement et à la robotique ainsi qu'au tableau de bord de supervision. Dans ce démonstrateur, nous analysons la qualité visuellement de poignées de porte de la nouvelle BMW Série 5 circulant sur un convoyeur.

Une série d'image est prise par la caméra montée sur le robot et envoyée au composant Edge qui réalise les pré-traitements et classe le résultat à l'aide d'un modèle mathématique de type réseau neuronal pré-entraîné.

Ce réseau produit un score de confiance par poignée de porte qualifiant ainsi la nature du défaut ou non. L'approche est de type Machine Learning supervisé, ayant nécessité d'entraîner le modèle sur des exemples correctement choisis permettant de qualifier les différents types de défaut.

Dans un second temps, l'objectif est de nous assurer que la disponibilité opérationnelle du robot reste assez élevée afin de ne pas générer d'incidence sur la production.

L'opérateur contrôle le processus à l'aide d'un tableau de bord visualisant l'évolution des paramètres dans le temps (séries temporelles), ainsi que le score de santé estimé sur l'équipement. Le score de santé du robot est calculé à l'aide d'un modèle statistique de maintenance prédictive.

Si le score de santé vient à chuter soudainement, la cause en est indiquée (valeur des paramètres à ce moment) et une recommandation peut-être produire telle qu'une demande d'inspection, une reconfiguration ou un changement de seuils, ou dans les cas les plus graves un arrêt d'urgence de la machine, ...)

Enfin, un technicien de service reçoit une alerte depuis une application mobile lui présentant les demandes d'inspections (ou bons de travaux) à réaliser. Après sélection d'une demande, une conversation utilisant le langage naturel propose au technicien plusieurs solutions possibles avec pour chacun d'entre-elles un score estimé de succès, la raison pour laquelle cette solution est proposée, ainsi qu'une série d'étapes guidées à l'intérieur de la procédure de maintenance.

Le point fondamental au cœur de ce démonstrateur est l'approche retenue, à savoir l'apprentissage machine. Les solutions proposées dans l'étape d'inspection ont été apprises en capturant l'expérience des autres techniciens. Cette expérience est capturée par une boucle dite de « feedback » ou rétroaction.

A la fin de l'exécution de l'une des solutions choisies, le technicien donne une évaluation, commente, voire corrige les étapes de réparation proposées initialement (modification des documents, ...) : c'est ce que l'on appelle le « feedback ».

Finalement, le système deviendra la prochaine fois plus performant dans la précision de ses estimations. Dans une approche classique et non basée sur l'apprentissage machine, le système aurait été programmé à l'aide de règles déterministes, rendant son évolution et sa pertinence beaucoup plus limités.

### 3.3 Exemple au niveau de l'atelier : Cas d'usage - Support à l'opérateur de maintenance

La montée en puissance de l'IA représente également un intérêt majeur pour les activités de service client, support, maintenance et réparation. A ce titre, la suite Watson IoT for Manufacturing à travers le module IBM Watson Maintenance Assistant adresse la problématique de la maintenance opérationnelle des équipements sur le terrain et dans les ateliers.

Mais tout d'abord, listons les enjeux rencontrés par le métier de la maintenance:

**Constat 1 :** Les équipements et assets industriels sont de plus en plus sophistiqués et embarquent parfois du logiciel, ainsi que des capacités analytiques de plus en plus évoluées et performantes (Fog Computing, Analytics In the Edge). Ils deviennent communicants et collaborent avec les humains. Ils sont par conséquent devenus complexes et délicats à dépanner.

**Constat 2 :** Ces équipements ont tendance à devenir de plus en plus autonomes et capables de prendre des décisions par eux-mêmes sans passer par une instance centrale de pilotage ou de consolidation. Ils s'insèrent souvent dans un contexte qui peut être un processus industriel, une usine, une ligne d'assemblage. La problématique de leur sécurité est un sujet à part entière car étant autonome, une organisation pourrait prendre la main sur ses équipements et ainsi détourner leur usage à des fins malveillantes.

**Constat 3 :** La documentation technique de ces équipements n'est pas toujours simple à appréhender. Elle demande beaucoup de temps de lecture, de travail et de formation personnelle. Elle est souvent volumineuse. A ce titre, il n'est pas toujours aisé d'identifier les éléments pertinents de la documentation pour aider au diagnostic et à la réparation.

**Constat 4 :** Force est de constater que le savoir-faire et l'expérience sont absolument clés et apporte une valeur inestimable au-delà de ce que décrivent les manuels constructeurs. Malheureusement, le savoir-faire est souvent perdu lors du départ des plus expérimentés et peu d'entreprise formalisent et partagent la connaissance et les bonnes pratiques communes.

**Constat 5** : Les opérateurs et techniciens ont peu de temps pour réaliser les activités de diagnostic, identifier la cause racine des problèmes et apprécier l'impact. Il est important pour eux de choisir le plus vite possible la meilleure solution technique et stratégie de résolution, remettre en état l'équipement, et enfin documenter la résolution à des fins de traçabilité et d'audit. En synthèse, il faut faire vite et bien ! (comme toujours tout en respectant la réglementation dans laquelle les techniciens évoluent).

La problématique étant dorénavant exprimée, la question est de savoir quel est l'apport de l'IA dans ce paysage.

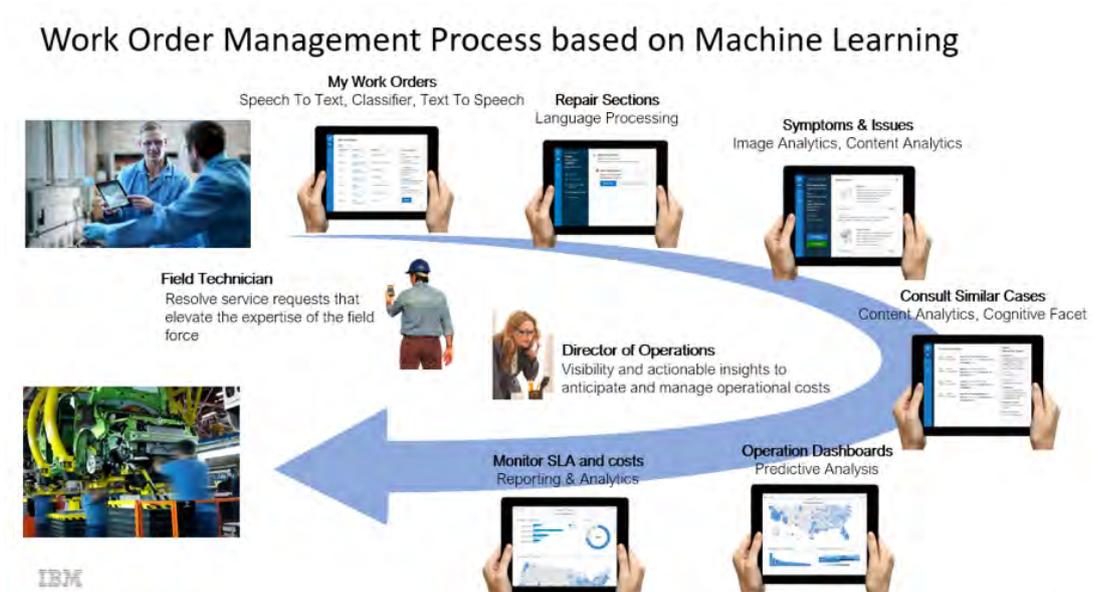
- **L'analyse de contenu non-structuré** (ou *Content Analytics*) permet de comprendre le sens d'un texte parlé ou écrit et découvrir les facettes non explicites (*Hidden Facets*). En analysant les textes saisis dans les rapports d'intervention des opérateurs de maintenance, il est possible de déduire les styles, d'identifier des tendances, des pratiques, catégoriser des concepts et découvrir les relations sémantiques entre les concepts.
- L'opérateur pose ensuite une question en langage naturel au système, lit un message d'erreur ou un code alarme sur un équipement - les concepts détectés dans la phrase sont ensuite classifiés avec un taux de confiance, la dernière étape étant de proposer une recommandation associée à cette classification, typiquement un lien vers une procédure de réparation prédéfinie ou mieux encore un 'chemin' dans la documentation rassemblant plusieurs types de contenus différents (liens, images, paragraphes, sections, vidéos,...) de manière dynamique.
- L'analyse dite 'intelligente' ou 'cognitives' d'images ou de vidéos permettant de reconnaître, à l'intérieur d'un flux, des situations (patterns), des personnes, du texte, des visages ou divers éléments qui feront l'objet de pose d'attributs pour indexation et recherche. Le service Watson Visual Insights utilise des techniques de *Deep Machine Learning* pour analyser les scènes et les sujets, et offre également la capacité de créer des classifieurs spécifiques.
- La traduction automatique de type 'audio vers texte' et 'texte vers audio' est un service qui existe depuis plusieurs années et disponible en plusieurs langages. IBM fournit dans ce domaine un service en mode SaaS simple, efficace et surtout combinable avec d'autres services. Dans le cadre de la maintenance, notre opérateur pose des questions ouvertes en langage naturel à la machine, la machine comprend la teneur et le sens de la question, l'analyse (sujet, verbe, complément) et fournit une solution possible basée sur un score de confiance et des éléments de preuve associés.

Le cas d'usage ci-dessous décrit le fonctionnement du module **MAXIMO: Watson Equipment Assistant**.

Cette solution combine de manière intégrée et transparente à l'utilisateur, les services Watson présentés précédemment. **MAXIMO: Watson Equipment Assistant** apporte une expérience utilisateur unique sur une application mobile.

Comme toute solution d'IA, il est nécessaire de l'entraîner et dans le cas présent de lui apprendre les corpus documentaires du domaine de maintenance concerné.

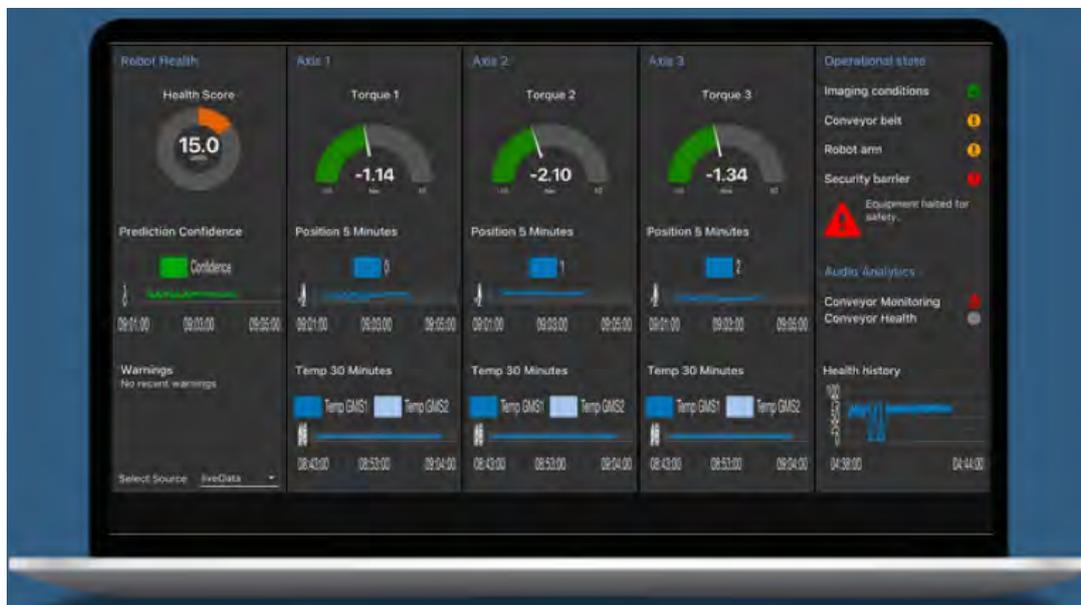
**Figure 25**  
Maintenance cognitive  
pour l'opérateur



Dans cette figure, le technicien de maintenance utilise l'application Watson Equipment Maintenance Assistant sur tablette lui facilitant ainsi son travail de diagnostic et de réparation.

- Dans un premier temps le technicien consulte les travaux en cours ouverts et qui lui sont affectables (Work Orders);
- Dans un second temps, il visualise les détails de chaque *Work Order* afin de décider lequel choisir : Description du symptôme, solutions recommandées (avec score de confiance pour chacune d'entre-elle), temps estimé de réparation, listes de pièces de rechange, outils à utiliser, conseils divers;
- Le technicien peut consulter les Work Order similaires et approchants, cette fonction est typiquement fournie par un service de Machine Learning avec apprentissage automatique;
- Après avoir décidé de travailler sur un Work Order donné, l'opérateur demande à Watson les détails de la solution recommandée ayant le meilleur taux de confiance. Des sections du corpus documentaire sont extraites et assemblées (basés sur des requêtes préconstruites) incluant images, plans (montage, démontage), liens vers les manuels constructeurs;
- Ces sections sont appelées passages et présentent les instructions à exécuter. L'opérateur peut évaluer et commenter les passages, permettant ainsi d'entraîner les modèles d'apprentissage pour les prochaines fois : amélioration du score de confiance par analyse de la pertinence des passages proposés en fonction des commentaires (sentiments, avis) posés par les opérateurs lors des actions de maintenance précédentes;

- Enfin, notre opérateur peut exécuter une recherche en langage naturel en posant des questions écrites ou à l'oral au système lors d'un dialogue, par exemple une question ouverte typique du style : "Quelles sont les procédures recommandées lorsque l'équipement est lent à démarrer ?" ou "Que faire en cas d'un code erreur spécifique ?"



**Figure 26**  
Watson Equipment  
Maintenance Assistant

En savoir plus sur IBM Maximo APM - Equipment Maintenance Assistant :  
<https://www.ibm.com/uk-en/marketplace/equipment-maintenance-assistant>

### 3.4 Exemple au niveau de l'atelier : Cas d'utilisation «Heartbeat Manufacturing» - Suivi de KPI

Cette solution, conçue initialement pour l'industrie automobile, permet de surveiller l'activité de production des véhicules, cette activité étant répartie sur plusieurs usines et lieux géographiques.

L'application s'adresse à des directeurs de production ou d'usine qui ont besoin de suivre au quotidien les indicateurs de performance et de qualité, anticiper des risques et éviter les crises. Elle est basée sur un ensemble d'indicateurs clés de performance (KPI) dynamiquement évalués en fonction de l'état des processus de fabrication.

Des sources de données extérieures sont exploitées telles que les risques climatiques ou géopolitiques, afin d'affiner les prévisions réalisées par les différents traitements analytiques.

**Heartbeat Manufacturing** permet de visualiser l'état des KPI, déterminer les raisons des divergences et proposer des conseils pour remédier à la situation. L'application collecte les données des usines situées dans plusieurs pays, affiche l'évaluation des risques de sécurité, les problèmes d'exécution opérationnels et estime les causes pour lesquelles un écart de TRS (Taux de Rendement Synthétique) est détecté.

L'application est capable également de superviser d'autres indicateurs que le TRS tels que le respect des mesures de sécurité, des normes ou de la conformité réglementaire (QSE), des risques climatiques voire géopolitiques en analysant les flux des réseaux sociaux, ...

À l'aide d'une fonction de navigation intuitive, l'utilisateur peut parcourir l'arbre des indicateurs et identifier la cause à l'origine d'une déviation (indicateur en dehors du seuil de tolérance). Des codes couleurs associés aux indicateurs donnent des tendance (vert, orange, rouge).

Le directeur de l'usine ou le directeur de la production peuvent consulter les causes des écarts et les prescriptions pour remédier aux problèmes en sollicitant les modèles Watson embarqués.

Figure 27  
Application Heartbeat  
Manufacturing



### 3.5 Exemple au niveau central : Cas d'utilisation - OEE/TRS

Au sein de l'architecture, le composant OEE (TRS) a pour but d'aider la production à atteindre un rendement optimal.

L'application permet aux directeurs d'usine, aux ingénieurs d'usine, aux ingénieurs de maintenance/superviseurs d'usine, aux ingénieurs de procédés et aux ingénieurs qualité d'obtenir un aperçu unique, pertinent, prédictif et normatif qui facilite leur rôle dans la réalisation des objectifs de l'usine.

- **Le directeur de l'usine** se préoccupe des objectifs de fabrication à atteindre. Il ou elle a besoin de visibilité sur les facteurs qui contribuent à la perte de productivité et afin d'évaluer l'impact potentiel des opérations en aval.
- Les **techniciens de maintenance** sont soucieux d'effectuer la maintenance dans les délais impartis afin de maintenir l'usine en service sans interruption. L'OEE doit prévoir les problèmes des machines, prioriser les tâches de maintenance et recommander le meilleur moment pour effectuer les réparations.
- Les **ingénieurs des procédés** se préoccupent du rendement, de l'efficacité et de la variabilité relative des différents procédés. L'OEE traite les paramètres, les temps de cycle de traitement et les indicateurs clés de performance des différents processus et machines à comparer et à analyser. L'un des objectifs est de déterminer l'optimum des paramètres de configuration.
- Les **ingénieurs qualité** sont soucieux de réduire le gaspillage et les produits ou pièces en défaut de qualité. L'OEE notifie en cas de variations de processus et de défaillances de qualité et aide ainsi les ingénieurs qualité à prendre en compte et à réduire le fameux « Scrap Rate » (taux de rebut).



### Plant manager

- Visibility into factors that contribute to lost productivity
- Assess potential impact on downstream operations
- Improve ability to meet production targets



### Process engineer

- Accurately identify factors causing process failures and inefficiencies
- Understand downstream impact of factors that impede quality and productivity



### Maintenance

- Quickly and accurately determine probable root causes that endanger OE
- Optimize schedule and tasks needed to execute preventative or remedial actions



### Quality

- Accurately identify factors causing scrap or rework
- Improve ability to meet production targets

**Figure 28**  
OEE : valeur pour les différents secteurs d'activité

## Persona addressed



Plant manager



#### Identify constraints to OEE

Pinpoint potential constraints in the plant floor before it occurs. Get ahead of issues and take proactive action.



ME/Supervisor



#### Drive to predictive maintenance with prioritized maintenance tasks

Get predictive maintenance alerts and optimized "best time to repair" recommendations. Drive towards zero downtime with targeted maintenance.



Process engineer



#### Optimize processes

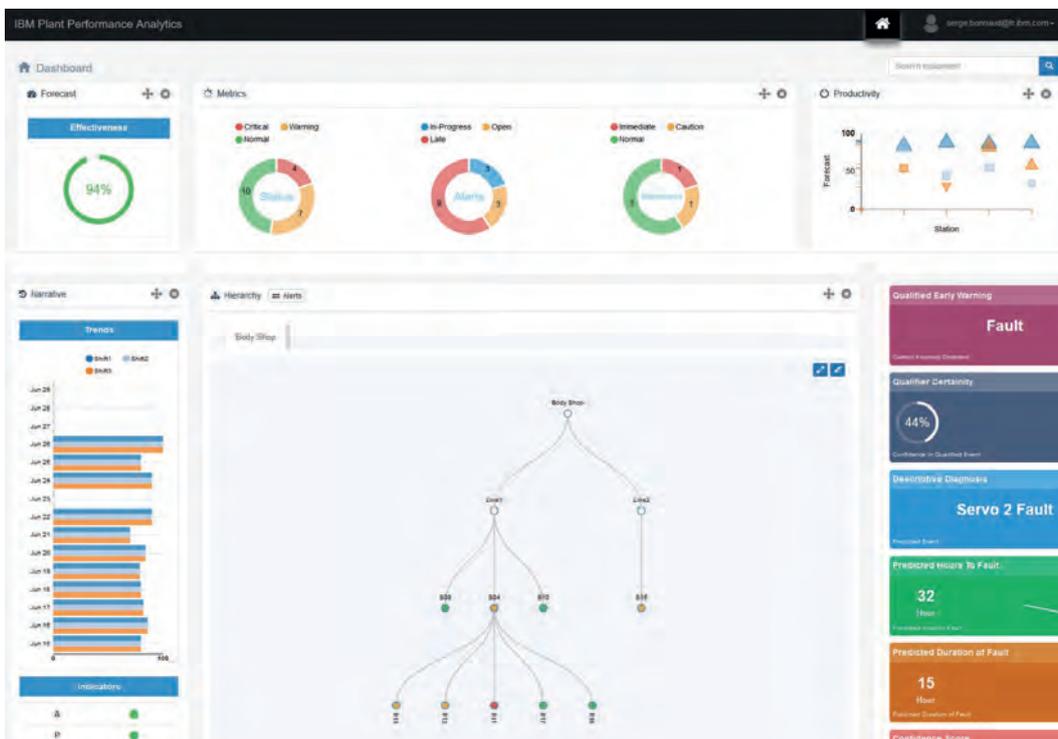
Identify process and performance failures. Perform root cause analysis by visualizing historic process and performance data.



#### Link actions to performance

Predicted OEE is calculated at machine, line and plant level to link all actions towards improvement of operational effectiveness.

**Figure 29**  
OEE et persona : lien



**Figure 30**  
OEE : tableau de bord d'une solution type pour un atelier soudure (automobile)

L'OEE permet d'appliquer différentes stratégies de maintenance. Chaque stratégie offre différents avantages lorsqu'elle est appliquée au bon équipement et, au contraire, provoque une hausse de coûts lorsqu'elle est appliquée au mauvais équipement.

- **Reactive Maintenance** se concentre sur la remise en état de l'équipement déjà en panne, en remplaçant ou en réparant ses pièces et composants défectueux afin de retrouver la situation nominale.
- **Preventive Maintenance** se concentre sur l'inspection (test, mesures, ajustements, enregistrement de l'usure et remplacement des pièces) en fonction du temps - par exemple après un certain nombre de jours ou d'heures d'utilisation ou un certain nombre de cycles.
- **Condition Based Maintenance** utilise l'état réel de l'actif et indique que la maintenance ne doit être effectuée que lorsque certains indicateurs montrent des signes de baisse de performance ou de défaillance imminente. Les données peuvent être collectés à l'aide de mesures non intrusives, d'inspections visuelles, d'indicateur de performance et de tests à différents intervalles ou en continu (si la machine est équipée de capteurs internes).
- **Predictive Maintenance** utilise des algorithmes avancés pour rechercher les meilleurs modèles décrivant le fonctionnement d'un équipement dans son environnement. Elle établit une corrélation entre les données remontées par les capteurs, les défaillances passées et connues afin de prévoir les pannes futures.

Lorsque la maintenance prédictive fonctionne correctement, la maintenance n'est effectuée que lorsqu'elle est nécessaire, juste avant qu'une défaillance ne survienne. Plusieurs critères de criticité liés au portefeuille d'actifs à gérer doivent être évalués lors du choix de la stratégie de maintenance à appliquer.

En général, plus un équipement est critique pour le bon déroulement du processus de production et l'optimisation des coûts de maintenance, plus les attentes en matière de maintenance prédictive sont élevées.

La maintenance prédictive se base sur des modèles prédictifs issus de la Data Science (C5, Arbre de décision, Détection d'Anomalies, Kmeans, clustering, Algorithme Séquence, ...). Il n'est jamais simple de déterminer un modèle applicable de maintenance prédictive et cela demande une approche méthodologique visant à recenser les données existantes et déterminer la variable ou le phénomène à expliquer (apparition d'une panne, d'une alarme, présence d'un arrêt non attendu, analyse de signaux faibles...)

En particulier, il est important de posséder les bonnes sources de données liées à l'équipement dès le départ : télémessures, alarmes et rapports de maintenance sont les 3 sources minimales avant de démarrer une étude de maintenance prédictive.

Une évaluation de la qualité des données disponibles est nécessaire incluant une volumétrie suffisante (nombre d'équipements, profondeur de l'historique, complétude ...), une sémantique claire et partagée et la possibilité de rapprocher par des ID uniques les logs de maintenance avec les données de télémessure et les alarmes ou incidents.

Dans le cas de la solution IBM Watson IoT For Manufacturing, un module complet existe pour la maintenance prédictive : **IBM Maximo Production Optimization**.

Ce module est livré avec des modèles prédictifs et prescriptifs pré-paramétrés basés sur un modèle ouvert et extensible respectant le standard du manufacturing ISA-95.

## 4. Cybersécurité IT/OT

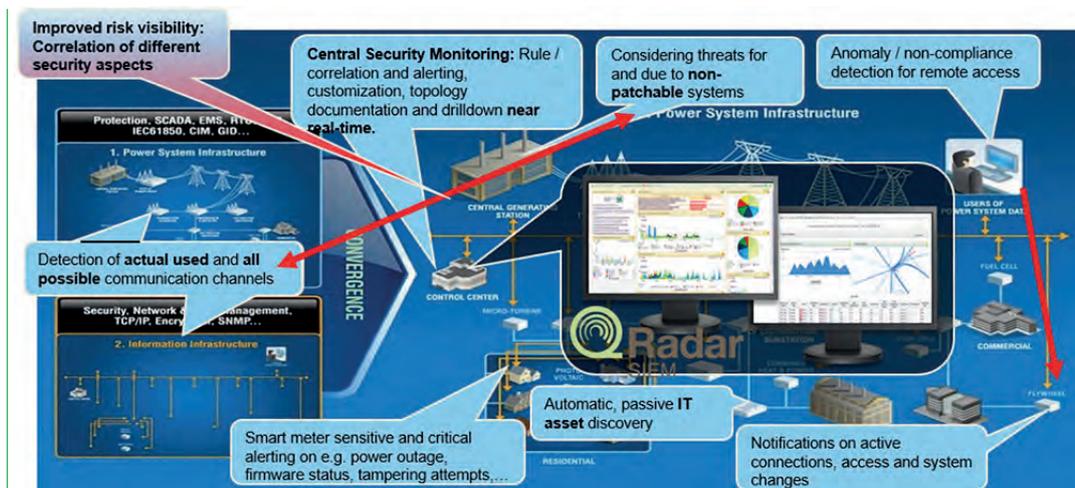
### 4.1 Cybersécurité de l'infrastructure OT

La sécurité pour l'industrie 4.0 est un sujet émergent en termes de concepts et de solutions. Pour mettre en œuvre une réelle politique de cybersécurité industrielle efficace, les entreprises auront besoin de démarrer une réflexion large avec tous les départements concernés, IT, OT et sécurité. Un accompagnement stratégique est souvent nécessaire pour identifier les menaces et les risques, définir les politiques de sécurité et les processus et solutions associés.



IBM fait partie du groupe de travail sur la sécurité Industrie 4.0 et développe ces concepts au sein d'une communauté mondiale d'industriels et de partenaires. avec l'outil SIEM d'IBM, QRadar.

Figure 31  
SIEM pour IT/OT



Avec certains clients, nous avons commencé à explorer la possibilité de fournir des services de surveillance spécifiques aux environnements OT en intégrant des technologies complémentaires (Sentryo, Nozomi, etc.) permettant d'acquérir les événements de sécurité circulant sur le réseau OT.

L'idée sous-jacente est d'analyser les protocoles SCADA et les systèmes ICS à la recherche d'anomalies/d'incidents et d'événements liés à la sécurité et de prendre en charge les normes et protocoles DNP3, Modbus, IEC 61850, IEC 60870-5-104, IEC 60870-6 (ICCP) ainsi qu'un large éventail d'autres systèmes de contrôle industriels et de protocoles IoT couramment utilisés.

Pour cela, IBM peut intégrer de nombreux outils SIEM, cependant nous proposons une intégration plus poussée avec le produit QRadar, leader des Security Operation Center (SOC) dans le marché IT. QRadar est ainsi étendu pour pouvoir s'intégrer avec les solutions de surveillance ICS/IoT.

Les solutions de surveillance ICS/IoT passives et non passives peuvent détecter l'activité liée au réseau et aux actifs. Des alertes en cas d'activité réseau anormale et malveillante ou de modification de la configuration des dispositifs peuvent être reçues.

IBM développe des partenariats pour intégrer son SOC QRadar au monde OT et fournir ainsi une visibilité complète au niveau des alarmes, journaux, événements et alertes de sécurité des réseaux. Le SOC doit être capable de surveiller l'ensemble des composants logiciel déployés dans les 3 couches de l'architecture Industrie 4.0.

### What Comprehensive OT Security should cover

Less preventive measures require quicker detection response and resolution

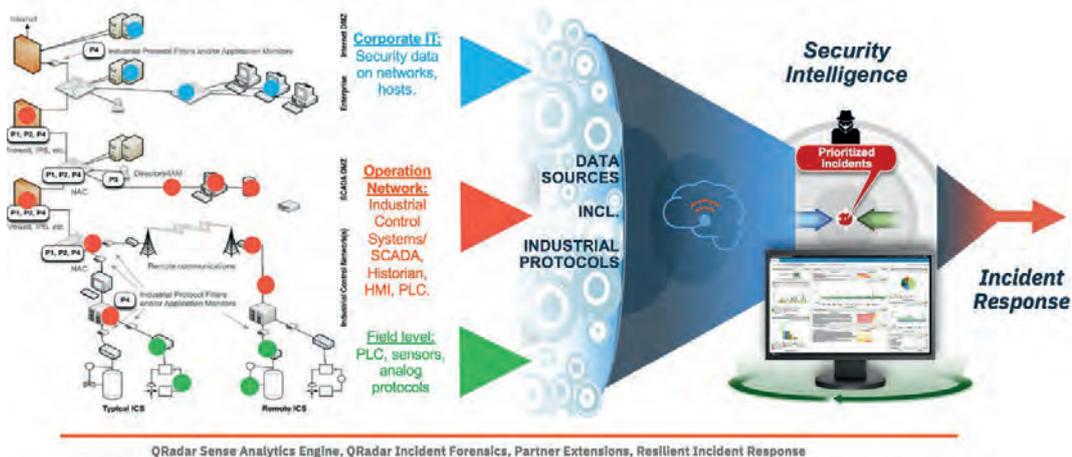


Figure 32  
QRadar pour IT/OT

## 5. Modèle de déploiement

Les composants de l'architecture doivent pouvoir être déployés de manière rapide et évolutive dans les ateliers, dans l'usine ou en central incluant les fournisseurs de cloud additionnels

IBM Cloud propose une plateforme de service (PaaS) ainsi qu'une chaîne d'outils DevOps pour créer, exécuter et gérer des applications. Basé sur la technologie open source Cloud Foundry, Docker, les développeurs se concentrent sur l'assemblage des services et sur la logique métier, sans avoir ainsi à gérer l'infrastructure sous-jacente.

Le niveau d'hybridation au niveau des cloud doit être déterminé logiquement en fonction des spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles. L'hybridation représente toujours un compromis à calculer entre les coûts (stockage, volumétrie, SLA) et les fonctionnalités.

IBM est très flexible en termes de modèles de déploiement Cloud. A ce titre, nous tirons parti de technologies d'infrastructure clés reconnues sur le marché.

En complément des composants installés « At the Edge » ou dans les ateliers (sur site), notre stratégie cloud tire profit en particulier des technologies Open Shift, Docker et Kubernetes pour faciliter le déploiement des applications métier de la suite Watson IoT For Manufacturing.

ICP (IBM Cloud Private) exploite Docker et Kubernetes, capacités clés pour l'approche hybride.

## 6. Comment démarrer son programme de transformation

### 6.1 Démarrer rapidement : Quelles méthodes ?

La méthode *IBM Cloud Garage* est une approche globale qui favorise l'innovation, la conception collaborative et le déploiement de solutions industrielles.

Dans le cas de l'Industrie 4.0, elle permet de concevoir, fournir et valider en continu des solutions depuis le niveau « Edge » et usine jusqu'au niveau central et entreprise.

Elle décrit de manière standardisée le savoir-faire, les procédures, les modèles d'architecture, bonnes pratiques, exemples, chaînes de développement et guides de mise en place, issus de l'expérience acquise sur des milliers de projets.

La méthode IBM Cloud Garage a été élaborée par les entités de service et de conseil d'IBM. Elle recense, décrit et combine des assets, normes, standards et modèles types sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Elle offre en son sein des outils de mesure de son efficacité.

A ce titre, la méthode IBM Cloud Garage est pertinente pour fournir rapidement un premier PoC. IBM est capable d'aider ses clients à concevoir leur feuille de route, séquencer les cas d'utilisation et dimensionner les POC, MVP et les plans de projets associés.

Après un premier PoC, il est fréquent d'implémenter un MVP ou un pilote et de le déployer en production au sein des usines. Pour implémenter un MVP, IBM propose à ses clients de recourir à une seconde méthode dénommée « **MVP Product** ».

## 6.2 Développer le premier MVP ou Pilote : produit minimum viable

Le premier MVP doit être motivé par les cas d'utilisation les plus prioritaires et les résultats de l'activité de revue et de préparation des données en général composée de 3 activités :

- 1) Revue de la stratégie IT/OT des usines ;
- 2) Evaluation de la pertinence et de la qualité des sources de données existantes ;
- 3) Etude des données produites par les équipements industriels actuellement déployés dans les usines.

Tout MVP doit se baser sur une architecture standardisée et consistante. Afin d'atteindre cet objectif, IBM recommande une approche dite « bottom-up » afin d'installer et déployer les composants techniques essentiels aux niveaux des ateliers et de l'usine, tels que le capteurs additionnels (IoT), le PSB, les « Edge Analytics » et les passerelles IT/OT.

Cette étape doit être considérée comme une condition préalable et un prérequis.

**Adopt the Garage Method** Deliver innovative ideas to customers faster and beat the competition. As you transform your business, use the Garage Method to learn how to achieve your business goals and quickly deliver repeatable, innovative solutions with quality.

<b>Architecture center</b>	<b>Garage Method practices</b>	<b>DevOps toolchains</b>	<b>Courses and tutorials</b>
Cloud architectures provide specific technology, practice, and tool choices to build and deploy world-class enterprise applications.	Combine industry practices including IBM Design Thinking, Lean Startup, agile development, and continuous delivery to build innovative solutions.	Combine IBM Cloud services with open source and third-party tools to enable your team as you adopt Garage methodology.	Learn concepts of the Garage Method and test your knowledge.

**Figure 33**  
Services et actifs de la méthode Garage.

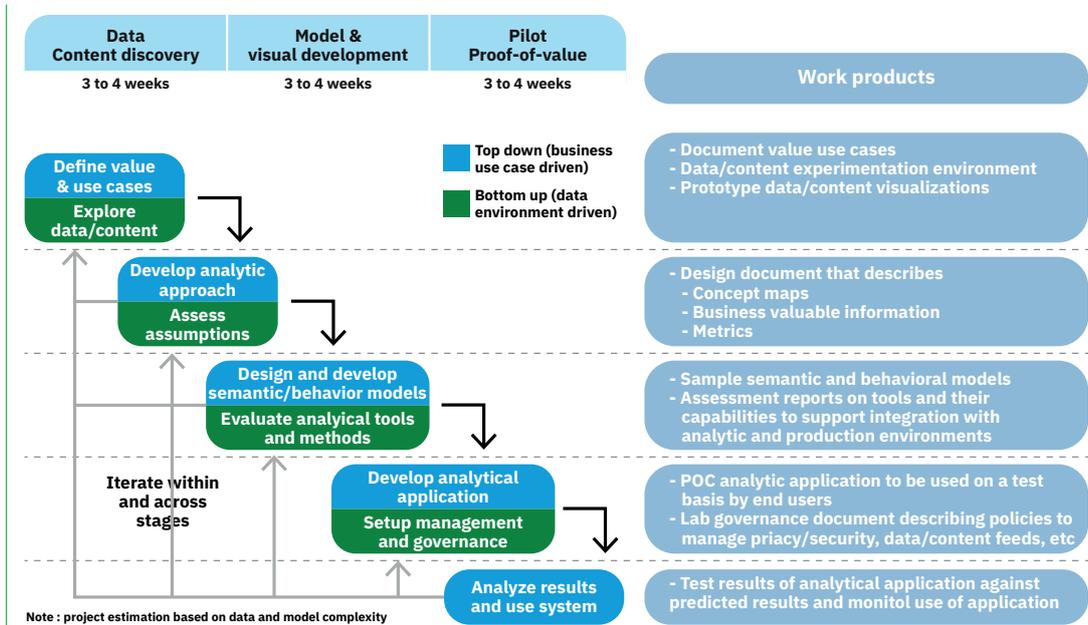
L'approche doit cependant rester flexible. Il sera privilégié un processus de déploiement itératif et incrémental, en commençant généralement par des cas d'utilisation à forte valeur ajoutée et peu risqués ou complexes à implémenter d'un point de vue technique.

**Exemples** : Amélioration des écrans de visualisation, mise en place de la supervision d'une machine, Change Over Process, nettoyage, optimisation du parcours d'opérateur, accès la documentation technique en usine des équipements, digitalisation des gammes et procédures de maintien opérationnel, etc ...)

## Minimum Viable Product method - Overview

IBM's MVP methodology is designed as an iterative approach to identifying, validating and driving business value, from a top down & bottom up perspective.

**Figure 34**  
Présentation de la  
méthode MVP



Une fois les composants techniques mis en place avec le premier MVP, il est nécessaire d'analyser ensuite les cas d'utilisation proposés et de les prioriser. Il est important d'évaluer la complexité des transformations de flux de données à concevoir, la nature des algorithmes à modéliser et la complexité du développement des outils de visualisation ainsi que les modèles de données (Data Lake, ...)

Pour accélérer ces activités, IBM propose à ses clients d'évaluer les applications industrielles de Watson IoT for Manufacturing ; c'est-à-dire déterminer si ces dernières peuvent supporter, totalement ou partiellement les cas d'utilisation à mettre en œuvre.

L'analyse des exigences non-fonctionnelles (performance, disponibilité, plan de reprise, sauvegarde des données etc ...) doit être couverte également pendant le premier MVP.

Cette analyse est très importante car elle soutient le processus de décision lié aux différents scénarios de déploiement entre les différents niveaux de l'architecture : atelier, usine et central/cloud.

**À cet égard, il est important de prendre en considération :**

- le niveau de résilience et de haute-disponibilité demandés ;
- les normes de sécurité requises pour les ateliers connectés ;
- le choix et le placement des « Edge Analytics » prenant en compte la latence et les besoins temps-réel de réactivité ;
- le pilotage des processus, par exemple, quel composant est responsable de l'exécution des tâches de mises à jour logicielle des SCADA, PLC, divers passerelles IT/OT et des « Edge » : Est-ce un composant installé en central ou en local dans chaque atelier ou usine ?

**6.3 Conception de la feuille de route : Approche projet et déploiement**

Après la mise en œuvre et la livraison du premier MVP, les décisions concernant l'architecture principale sont validées et documentées. Les mécanismes techniques de l'architecture (bus, Edge, passerelles IT/OT, visualisation, modèles de données, Data Lake additionnels, ...) sont en partie implémentés, testés et déployés.

**Comme caractéristiques minimales à couvrir du point de vue de l'utilisateur final, l'architecture doit être capable de :**

- surveiller l'équipement et la santé des systèmes ;
- visualiser les données et alerter les opérateurs.

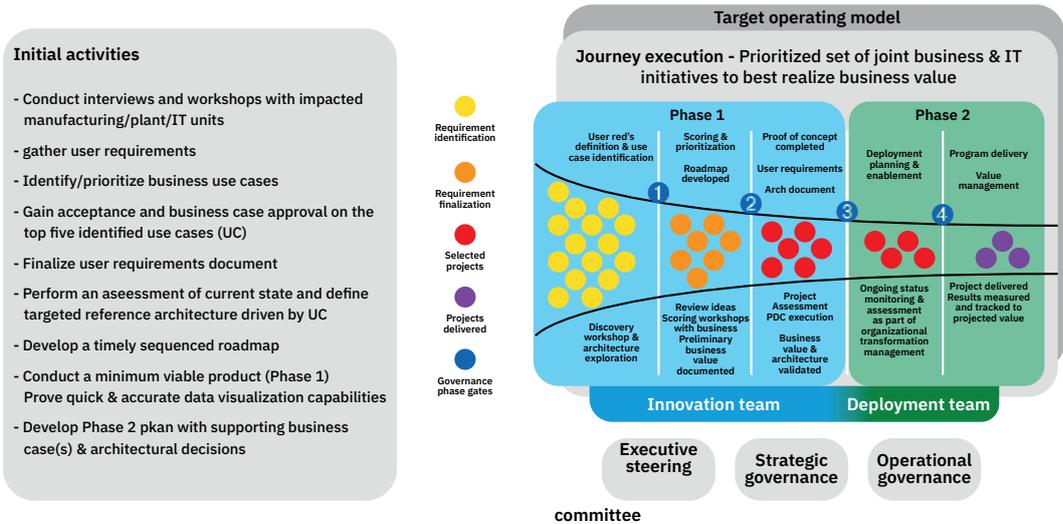
**Du point de vue des solutions, elle doit être capable pour les cas d'usage sélectionnés :**

- de produire des données de bonne qualité pour les équipements concernés ;
- de gérer les capteurs additionnels et les « Edge » installés ;
- s'assurer que les flux de données transitent par le Plant Service Bus ;
- exposer un premier ensemble minimal d'interfaces entre les 3 couches : atelier et « Edge », usine et niveau central.

Au fur et à mesure de la progression du projet, d'autres cas d'utilisation peuvent être mis en œuvre sur l'architecture préétablie. Le lecteur trouvera ci-dessous un exemple réel d'une feuille de route utilisant la méthode « MVP Product ».

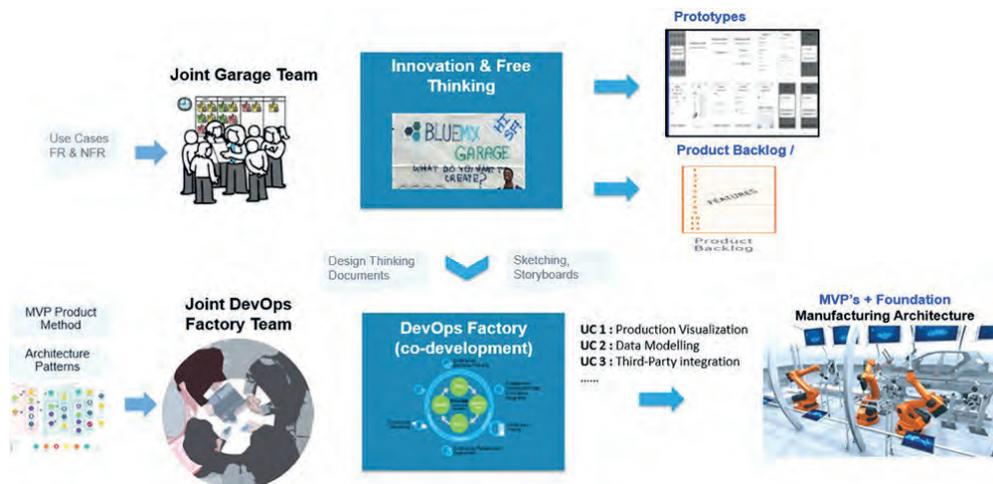
## Roadmap : illustrative project approach for deployment

Figure 35  
Approche de projet  
industriel



### 6.4 Exploration et innovation : conception centrée sur l'utilisateur et approche DevOps Factory

Figure 36  
Exemple Garage et  
DevOps Factory



Au niveau du garage, les *storyboardings*, use cases et prototypes font partie des livrables attendus. En général, le Garage s'appuie sur la méthode *Design Thinking*. Il est colocalisé avec des équipes mixtes IBM et client et repose sur une gouvernance clairement établie avec des processus collaboratif documentés.

Figure 37  
Composant du  
garage



#### The Garage includes 3 components:

- ▶ **Specific facility** (location to determine) area to effectively execute Design Thinking Workshops and Prototype related sprints.
- ▶ **Experienced Engineers and Designers, user experience experts** that discuss with subject matter experts to develop the respective user stories and prototypes
- ▶ **Design Thinking methodology** to effectively define User Stories, Personae's, Services, Use Cases & prototypes.

The garage will be used from different project teams and specialists to fill the product backlog for brainstorming, thinking and development.

## 6.5 IBM Architecture Center

Pour accélérer la conception et l'élaboration d'une architecture Industrie 4.0, nous proposons à nos clients de tirer parti d'actifs spécifiques sous propriété intellectuelle d'IBM.

A ce titre, l'**IBM Architecture Center** décrit les architectures de référence, les guides de bonnes pratiques et les cas d'usage les plus souvent rencontrés dans l'industrie. Un *mapping* avec les technologies possibles (développement personnalisé, asset existant, plate-forme IoT, framework, applications métier, composant open source, produits IBM ou autres ..

Il est également possible de construire ses propres modèles d'architecture en utilisant une représentation standardisée et homogène, permettant de communiquer dans les équipes de manière efficace (voir exemple ci-dessous)

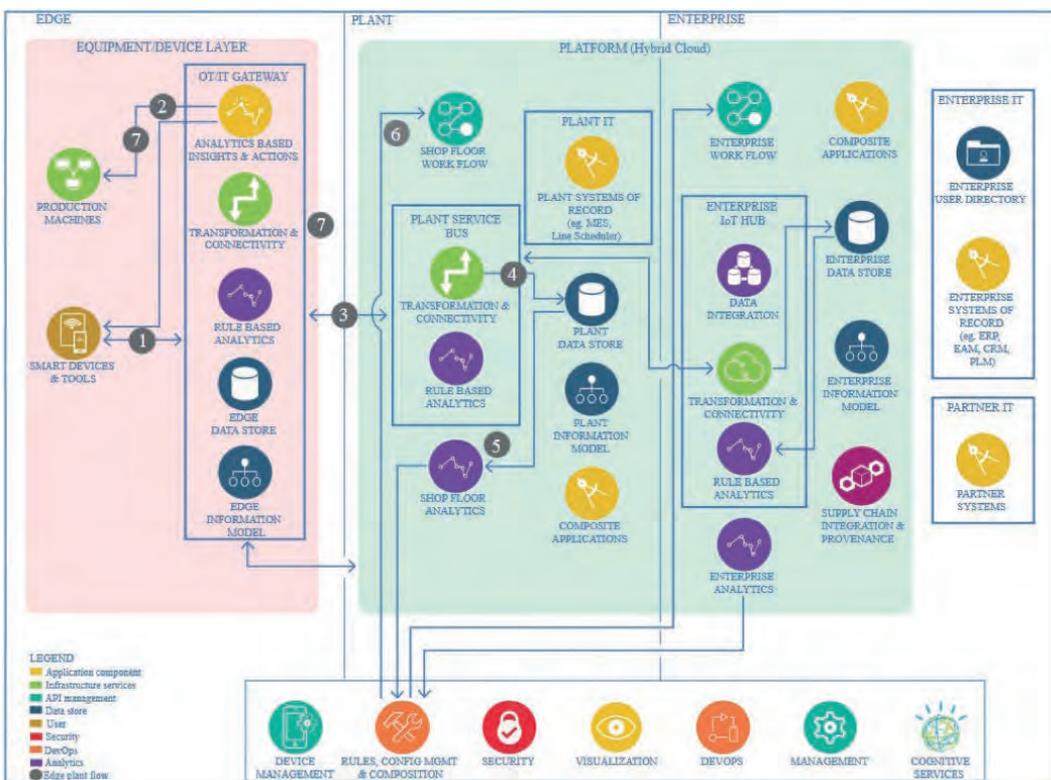
[www.ibm.com/cloud/garage/architectures](http://www.ibm.com/cloud/garage/architectures)

Une architecture de référence est un modèle type manipulant des composants fonctionnels reliés entre eux par des interfaces, inclus dans des couches et dont la responsabilité est clairement identifiée. Les architectures de référence sont issues de l'expérience acquise et se basent toujours sur des normes ouvertes de l'industrie.

La mise en œuvre des composants est illustrée par des listes de technologies possibles et solutions. Ces solutions sont documentées et parfois incluent leur code source. Le code est déployable par des chaînes d'outils standardisées sur IBM Cloud de type pipeline et DevOps.

A titre d'exemple, l'image ci-dessous représente l'architecture de référence de l'industrie 4.0 d'IBM :

[www.ibm.com/cloud/garage/architectures/iotArchitecture/industrie\\_40](http://www.ibm.com/cloud/garage/architectures/iotArchitecture/industrie_40)



**Figure 38**  
Approche de référence Industrie 4.0

## 7. Étude de cas : transformation digitale du Manufacturing chez Smart ManDevFactory

Pour étudier la transformation digitale dans le monde industrielle, l'entreprise fictive **Smart ManDevFactory** est prise comme exemple.

Cette entité a engagé un programme visant à tirer parti de la transformation numérique pour améliorer l'efficacité opérationnelle et la qualité de son outil industriel. Pour atteindre cet objectif, elle a décidé de mettre à profit un ensemble de technologies de rupture telles que l'IoT, le Big Data, l'Analytique et les techniques cognitives.

L'initiative globale s'articule autour de la création d'un nouveau programme d'entreprise appelé « **Digital Factory Industry 4.0** ». Dans un premier temps, l'objectif principal de cette transformation numérique au niveau du Manufacturing est de sélectionner les partenaires qui peuvent prendre en charge chaque étape de la feuille de route et la déployer à terme à l'échelle mondiale.

Smart ManDevFactory veut harmoniser les processus et les meilleurs pratiques en protégeant ses activités commerciales et en répartissant uniformément les technologies les plus innovantes sur l'ensemble de ses sites de production afin de profiter d'un effet d'échelle.

Pour démarrer le processus rapidement et de manière agile, IBM et Smart ManDevFactory ont réalisé un premier atelier de Design Thinking. Des sessions consacrées à l'innovation et à l'échange d'idées ont été organisées pour sensibiliser les membres de Smart ManDevFactory aux dernières tendances du marché en termes d'analytiques et de solutions cognitives y compris les perspectives et dernières avancées proposées par IBM : IoT, Blockchain, Réalité Augmentée/Virtuelle, solution d'optimisation, modèle prédictif ...

Plusieurs solutions (décrites dans ce document) ont été présentées pour couvrir le secteur de Smart ManDevFactory ainsi que les secteurs connexes qui pourraient encore être une source d'inspiration pour les participants.

La session a été suivie d'ateliers interactifs axés sur la découverte des «*pain points*» de Smart ManDevFactory en tirant parti de l'approche IBM Design Thinking avec un centrage particulier sur les «*persona*».

**Figure 39**  
Espace Design Thinking



Pour aboutir rapidement à des résultats visibles et quantifiables pour le business, Smart ManDevFactory a décidé de se focaliser sur trois MVP (Minimum Viable Product) et a extrait une liste de cas d'usage (Use Cases).

Ces 3 MVP représentent les cas d'utilisation représentatifs que Smart ManDevFactory aimerait aborder dans ses usines à l'aide d'une solution IoT unifiée (IoT industriel).

**Smart ManDevFactory** recherche une proposition technique basée sur une plateforme unique capable de couvrir les cas d'utilisation actuels et futurs en répondant aux besoins des usines avec la possibilité d'installer un middleware in-situ au sein du monde des lignes de production.

Au-delà de l'ajout d'une nouvelle architecture dans l'environnement technologique des usines Smart ManDevFactory, la nécessité d'intégrer une solution fluide et simple dans le paysage technologique est choisie.

L'objectif est de se connecter avec l'existant IT et OT de Smart ManDevFactory, en particulier de rechercher pour certains cas d'usage une meilleure automatisation des usines, une intégration optimale avec le système MES (Manufacturing Execution System, Delmia Apriso) et le système ERP (Enterprise Resource Planning system, SAP).

IBM propose donc une solution sur trois niveaux : ' At the Edge ' (ligne de production : shopfloor level), au niveau de l'usine et au niveau de l'entreprise.

### **1. Niveau ' At the Edge/Atelier '**

C'est la partie la plus physique de l'atelier, où ont lieu les activités liées aux produits et effectuées par les opérateurs, les ouvriers et les techniciens. Pour les projets novateurs, il est essentiel de faire le lien entre l'OT (technologies opérationnelles : automatisme) et IT (technologies de l'information : informatique classique).

Les passerelles industrielles (ou systèmes SCADA) permettent de relier les deux mondes, entre les protocoles de terrain (Modbus, ProfiNet, etc.) et les objets informatiques (MQTT/JSON, REST API, etc.) et ainsi d'obtenir la plupart des informations en temps réel générées par les automates programmables industriels (PCL).

Un premier niveau de transformation, de filtrage ou d'analytique peut se produire au niveau des « Edge » lorsque cela est approprié et ainsi effectuer certaines activités au plus proche de la source.

### **2. Niveau usine**

On trouve dans chaque usine un Service Bus (Plant Service Bus) pour orchestrer les activités, les échanges et gérer la connectivité locale avec le monde physique à l'aide des passerelles IIoT ou des protocoles de communication vers les systèmes SCADA.

Le PSB a donc une double visibilité, à la fois sur le monde de l'automatisme, et sur le patrimoine informatique, extrayant et enrichissant les données des applications locales, des systèmes MES ou toute autre application impliquée dans le processus de fabrication industriel.

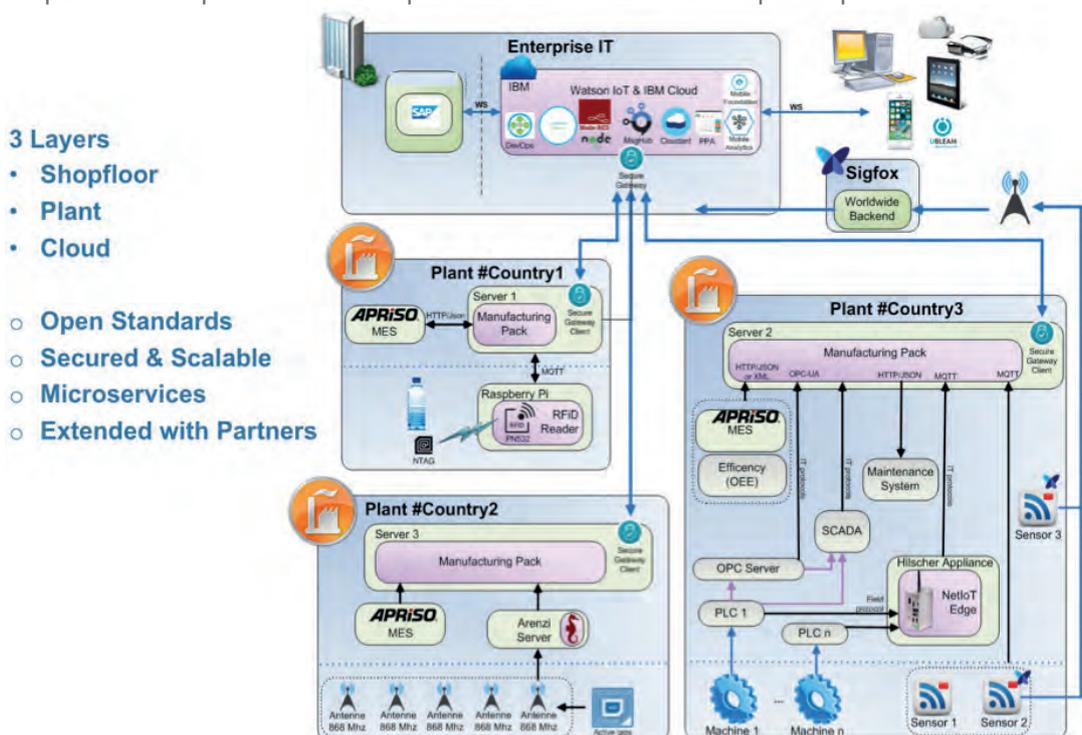
### 3. Niveau entreprise

**IBM Maximo Production Optimization** : l'un des modules de Watson IoT for Manufacturing destiné à analyser les informations fournies par les niveaux usines et « Edge ». Il est important de pouvoir collecter les données à travers le bus PSB, les traiter au niveau « Edge », les stocker, les analyser et visualiser dans les tableaux de bord les indicateurs du TRS (Taux de Rendement Synthétique).

IBM a sélectionné ainsi 3 partenaires pour compléter la solution de bout en bout : **Hilscher** (partenaire n°1) fournit des protocoles de terrain via une passerelle Industrielle (Modbus, EtherNet/IP, ProfiNet, etc..) vers MQTT, **Arenzi** (partenaire n°2) déploie une solution de localisation interne haute définition en temps réel et **UBleam** (partenaire n°3) fournit des fonctionnalités avancées de TAG pour scanner des machines et afficher des informations interactives en réalité augmentée.

Le réseau IoT Sigfox (long-range et low-power) est utilisé directement entre les capteurs et la plateforme IoT pour des cas d'utilisation spécifiques.

Figure 40  
Industrie 4.0  
Architecture type



## 7.1 Introduction des cas d'utilisation

Comme mentionné dans les sections précédentes, l'Industrie 4.0 ne concerne pas seulement la connexion entre les machines et le cloud mais se concentre principalement sur les liens et l'optimisation des « activités industrielle ».

En pratique l'Industrie 4.0 vise à structurer les éléments sur 3 axes : les produits, les machines et les personnes. On parlera d'ailleurs souvent de produit augmenté, équipement augmenté ou d'opérateur augmenté lors de la classification des cas d'usage.

Le **produit** est indéniablement la cible et la préoccupation principale d'une usine et de ses directeurs de production. Cependant, pour fabriquer des produits, les machines doivent être plus efficaces dans le traitement des matières premières, leur programmation, leur précision et leur configuration.

Mais plus important, il est nécessaire de trouver les bons optimums des paramètres de configuration (température, cycle, mélange, degrés de liberté des robots, couple, pression, ... etc.) et de les ajuster dynamiquement pendant le fonctionnement.

Au delà des machines, les **opérateurs**, les **techniciens** et les **managers** sont tenus de collaborer efficacement autour de processus optimisés (LEAN) où l'information est partagée (Exemple : traçabilité des incidents, compte-rendu d'inspection partagé, mesures LEAN, ...)

L'augmentation des **machines** se fait par l'ajout de passerelles IT/OT et par le déploiement du bus de connectivité PSB et de « Edge » additionnels (instrumentation supplémentaire).

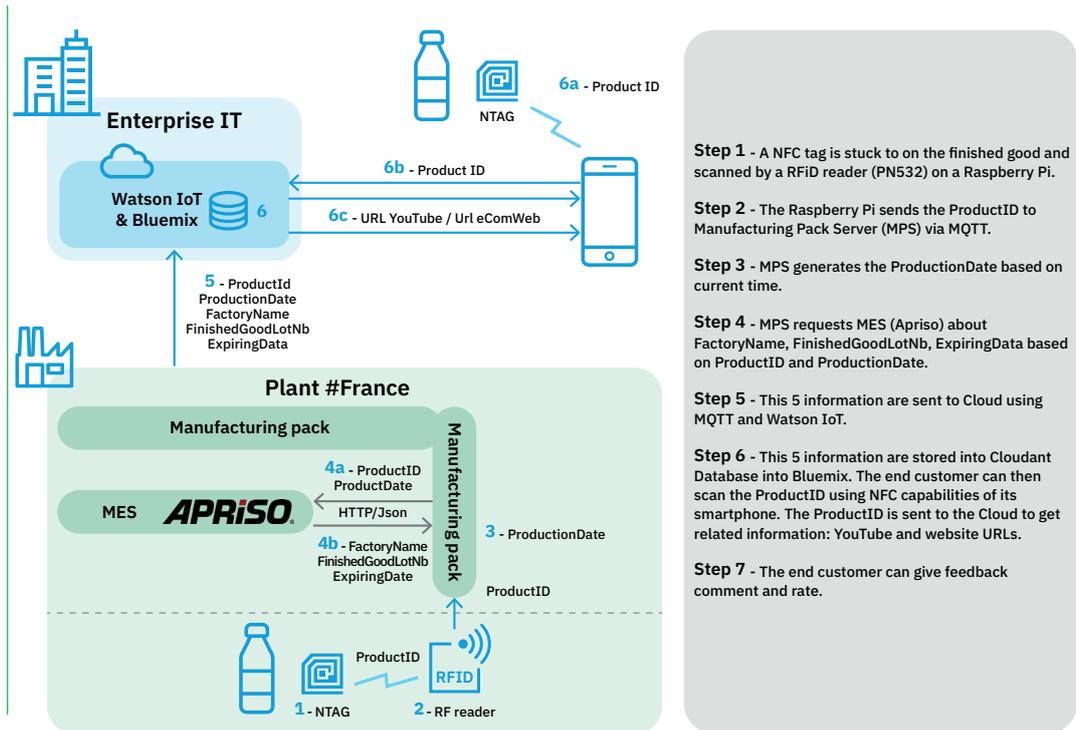
L'approche par augmentation a pour but d'accroître les « capacités » de toutes les entités (machine, humain, produit) impliquées pour les rendre plus efficaces et productives, diminuer les erreurs, les arrêts, les pannes et avoir une meilleure compréhension de l'exécution des processus industriels.

## 7.2 Cas d'utilisation n° 1 : Produit Augmenté

Afin d'apporter plus de valeur ajoutée à son client final et améliorer l'agilité de ses opérations, Smart ManDevFactory souhaite augmenter la traçabilité des produits : de la chaîne d'approvisionnement aux points de vente, en rationalisant ses activités et en optimisant l'expérience client.

**Objectif** : Ce cas d'utilisation est principalement destiné dans un premier temps à des fins Marketing. Il peut être utilisé pour valider les capacités techniques de la solution, de la capture de l'identificateur, au stockage et à la présentation de l'information au client final, en passant par des campagnes de promotions ciblées.

**Figure 41**  
Cas d'utilisation n° 1 :  
produit amélioré



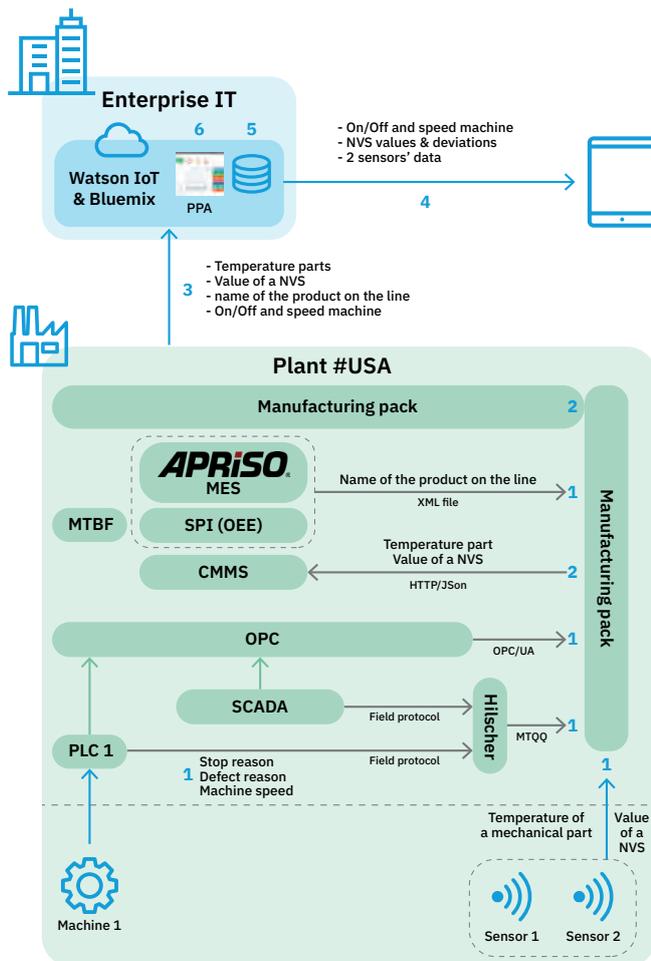
Il est important que l'identifiant du produit reste unique. Cette illustration s'applique à un tag NFC unique lié à un produit. Il est aussi possible de recourir à des solutions basées sur un QR code ou un code-barres.

Ces différentes alternatives doivent être envisagées lors des séances de conception et d'architecture. Cet identifiant unique peut être appliqué au niveau du produit ou du lot en fonction des besoins et des volumes de l'entreprise.

### 7.3 Cas d'utilisation n° 2 : Equipement Augmenté

Le but de ce cas d'utilisation est de collecter les données provenant des machines et optimiser leur usage.

**Objectif :** Ce cas d'utilisation présente la capacité de se connecter aux automates programmables (PLC), de collecter des données, de les publier dans un tableau de bord en temps réel et de les traiter avec des modèles analytiques, des analyses de corrélations et de causes et à terme de la maintenance prédictive.



**Figure 42**  
Cas d'utilisation n°2 :  
Équipement augmenté

- Step 1** - One machine is connected to the Manufacturing Pack Server (MPS) via Hilscher gateway or OPC-UA connector. IS tools (SPI or Apriso) is connected using an XML file. Additional 2 sensors are integrated via an MQTT connectivity. These flows of information: Stop reason, Defect Reason, Speed of Machine, Temperature of part, Value of a NVS, Name of the product on the line are then captured by MPS. The 2 sensors will be defined during Design Thinking phase.
- Step 2** - Temperature part and Value of NVS are sent to CMMS using HTTP/Json.
- Step 3** - The information is sent to Bluemix via Watson IoT.
- Step 4** - This information can be displayed in real-time on a tablet.
- Step 5** - This information is stored into Cloudant database and pushed to PPA.
- Step 6** - Analysis can be performed in Cloudant or PPA.

## 7.4 Cas d'utilisation n° 3 : Opérateur Augmenté

Les cas d'utilisation de « *ChangeOver* » aident les opérateurs de la ligne de conditionnement à effectuer les tâches de changement de formats en conformité avec les normes EHS et la performance de Smart ManDevFactory. La priorité est mise ici sur les étapes où les opérateurs doivent passer d'une série A à une série B.

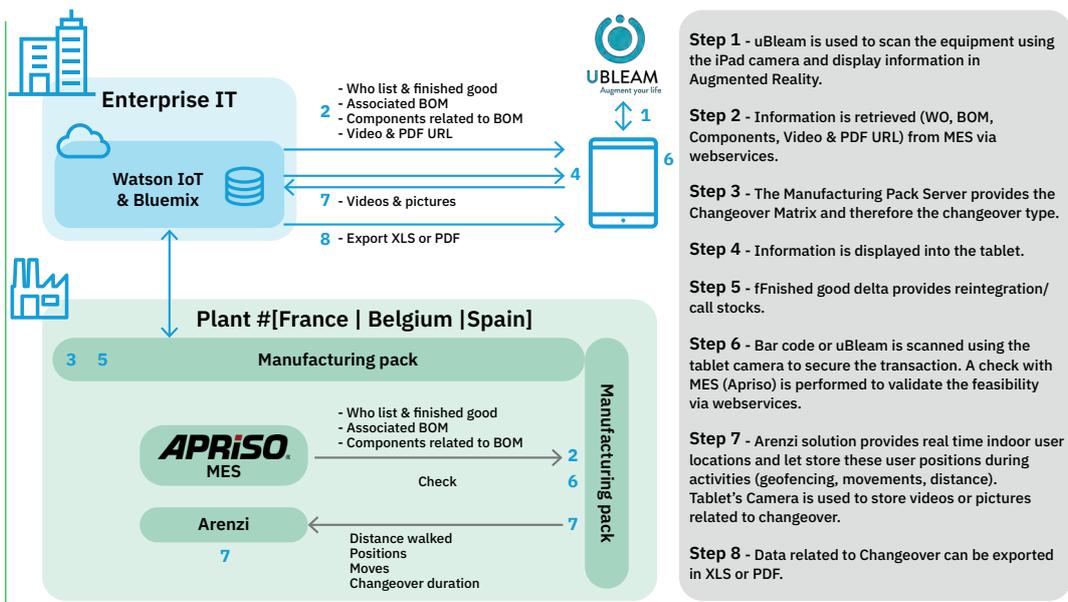
De nombreuses activités permettent de passer d'une production d'une série A 100% vers une série B 100% : mais la qualité n'autorise pas la production partielle d'une sorte de mélange entre A et B.

Ces opérations peuvent être, par exemple, le branchement/débranchement de tuyaux, le nettoyage, la désinfection et le changement de documentation et d'emballage.

Toutes ces opérations sont dépendantes des activités antérieures et postérieures. En pratique, cette phase peut durer quelques heures. Si l'opérateur le moins efficace pouvait se rapprocher de l'efficacité de l'opérateur le plus rapide, cela produirait un impact important sur la productivité d'une ligne.

**Objectif** : Améliorer l'agilité dans la production de petites séries et le changement rapide des produits finis tout en maintenant le niveau de qualité.

**Figure 43**  
Cas d'utilisation  
n° 3 : opérateur  
augmenté



- Step 1** - uBleam is used to scan the equipment using the iPad camera and display information in Augmented Reality.
- Step 2** - Information is retrieved (WO, BOM, Components, Video & PDF URL) from MES via webservices.
- Step 3** - The Manufacturing Pack Server provides the Changeover Matrix and therefore the changeover type.
- Step 4** - Information is displayed into the tablet.
- Step 5** - fFinished good delta provides reintegration/ call stocks.
- Step 6** - Bar code or uBleam is scanned using the tablet camera to secure the transaction. A check with MES (Apriso) is performed to validate the feasibility via webservices.
- Step 7** - Arenzi solution provides real time indoor user locations and let store these user positions during activities (geofencing, movements, distance). Tablet's Camera is used to store videos or pictures related to changeover.
- Step 8** - Data related to Changeover can be exported in XLS or PDF.

Un assistant cognitif pourrait aider à rendre ce cas d'utilisation plus efficace en se basant sur un service de reconnaissance visuelle d'images couplé à un assistant conversationnel.

Lors de la phase Design Thinking, il est très important de s'interroger sur le "device" le plus approprié pour les opérateurs dans leurs activités quotidiennes : il peut s'agir de téléphones mobiles, de tablettes, d'écrans géants ou d'appareils de réalité augmentée.

## 7.5 Autres cas d'utilisation considérés

Les trois cas d'utilisation précédents sont de bons candidats pour un MVP. Ils permettent en effet de comprendre, contrôler et valider une approche Industrie 4.0 en quelques mois seulement.

D'autres cas d'utilisation restent cependant envisageables :

- Des drones pour le contrôle des bâtiments avec reconnaissance d'images ;
- La gestion de la température et de l'humidité du bâtiment ;
- La supervision de la consommation d'eau ;
- Le suivi des containers entre les sites ;
- Des assistants cognitifs pour aider les techniciens de maintenance ;
- Le Machine Learning pour mieux comprendre les défauts de fabrication ;
- L'intelligence artificielle et la maintenance prédictive pour améliorer le TRS.

En conclusion, nous tenons à souligner que les cas d'utilisation identifiés à travers cette exemple peuvent être testés et mis en œuvre de manière réussie lorsqu'il existe une forte implication des personnes qui les utiliseront au quotidien au sein des usines.

Du début (phase Design Thinking) jusqu'à la mise en œuvre, il est très important de concevoir les solutions et modéliser les cas d'usage avec des personnes complémentaires et compatibles entre-elles : opérateurs, techniciens, managers, directeurs, informaticiens, fabricants, consultants et acteurs commerciaux.

## Conclusion

IBM possède toutes les capacités, références, méthodologies et expertises nécessaires pour engager les transformations de type Industrie 4.0.

Notre recommandation est de mettre en place un partenariat stratégique à long terme dans lequel IBM et ses clients réalisent en co-développement des projets via un programme structuré produisant rapidement une valeur mesurable au niveau des équipements, des processus ou des équipes.

Du point de vue des solutions, IBM reste agnostique et neutre en ce qui concerne les équipements physiques et les systèmes de fabrication. En outre, IBM privilégie les systèmes ouverts (Open Source) ainsi qu'une approche hybride Cloud. L'objectif est de standardiser la solution et sa normalisation auprès de ses partenaires et fournisseurs.

Dans un contexte industriel de production avec engagements de résultats, IBM est considéré comme un partenaire stratégique afin de fournir des solutions et une expertise de pointe, gérer un écosystème complexe de partenaires et déployer chaque étape de la transformation digitale sur une échelle locale et mondiale.



© Copyright IBM Corporation 2018  
Compagnie IBM France

17, avenue de l'Europe  
92275 Bois-Colombes Cedex  
Tél. : 0810 015 810  
[www.ibm.com/fr](http://www.ibm.com/fr).

IBM, le logo IBM, sont des marques  
de International Business Machines  
Corporation aux États-Unis et/ou dans  
les autres pays.