



HAL
open science

Comment limiter les freins au développement de l'IoT dans les entreprises industrielles ?

Stéphane Berne

► **To cite this version:**

Stéphane Berne. Comment limiter les freins au développement de l'IoT dans les entreprises industrielles ?. Gestion et management. 2022. dumas-03919813

HAL Id: dumas-03919813

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03919813>

Submitted on 3 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Mémoire de stage

Comment limiter les freins au développement de l'IoT dans les entreprises industrielles ?

Présenté par : BERNE Stéphane

**Entreprise d'accueil : VISEO
Grenoble**

Date de stage : du 04/04/22 au 16/09/22

**Tuteur entreprise :
CREUSEVEAU Christophe
Tuteur universitaire : BERNARD Camille**

**Master 2 Pro. (FI)
Master Management des Systèmes d'Information
Parcours Intelligence des données
2021 - 2022**

VISEO | DIGITAL
MAKERS

Avertissement :

Grenoble IAE, au sein de l'Université Grenoble Alpes, n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires des candidats aux masters : ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Tenant compte de la confidentialité des informations ayant trait à telle ou telle entreprise, une éventuelle diffusion relève de la seule responsabilité de l'auteur et ne peut être faite sans son accord.

RÉSUMÉ

L'Internet des Objets rassemble plusieurs technologies pour connecter les objets à internet. En y intégrant des capteurs qui transmettent leurs données, cela permet d'en avoir un meilleur contrôle et d'interagir avec leur environnement. Dans les entreprises industrielles, ces technologies sont donc porteuses de nombreuses promesses pour gagner en productivité et améliorer la consommation des ressources. C'est aussi l'occasion pour les entreprises de se moderniser et donc de se différencier de la concurrence. Mais malgré des avantages évidents, les entreprises des pays industrialisés ont tout de même des réticences à se lancer dans de tels projets. Ce mémoire apporte donc une analyse des enjeux autour de l'IdO dans le monde industriel. Il évoque également les différents freins à la mise en place de l'usine connectée. Enfin, des solutions pour favoriser le développement de ces technologies y sont présentées. Il permet donc d'avoir un plus grand recul sur le sujet, et apporte des pistes pour les entreprises du secteur qui hésitent à se lancer.

SUMMARY

Internet of Things is a concept that brings together several technologies to connect things to internet. By embedding sensors which transmit data, they allow better control of devices and interaction with their environment. In industrial companies, these technologies bring many promises to increase productivity and improve resource consumption. It is also an opportunity for companies to modernize and thus differentiate themselves from the competition. But despite the obvious benefits, companies in industrial countries are still reluctant to launch such projects. This master's thesis analyses the challenges around IdO in industry. It also discusses the obstacles to the connected factory. Finally, it provides solutions to help development of these technologies. Therefore, it allows to better understand this subject, and to bring solutions for hesitating industrial companies.

MOTS CLÉS : IdO, cloud, industrie, entreprise, réticence, freins

IoT, Industry, company, reluctance, barriers

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'entreprise VISEO qui m'a accueilli pour mon stage de fin de Master 2 pendant près de 6 mois. J'ai pu y découvrir les nombreuses facettes d'un projet sur le cloud et y acquérir des connaissances et compétences qui me seront très utiles pour la suite de ma carrière professionnelle.

Plus précisément, je souhaiterais remercier mon tuteur professionnel Christophe CREUSEVEAU, qui m'a donné de précieuses pistes pour la rédaction de ce mémoire. Je souhaite également remercier ma référente Marion BARTEL pour ses conseils lors de la relecture de ce mémoire et son accompagnement pendant mon stage. Un grand merci également aux autres stagiaires Grenoblois et notamment ceux avec qui j'ai pu travailler.

Par ailleurs, je tiens à remercier Grenoble IAE pour ces trois années de formation où j'ai pu développer mes compétences dans les métiers liés à la data. Dans ce contexte, je tiens à remercier tout particulièrement Camille BERNARD, ma tutrice universitaire, qui m'a très largement soutenu tout au long de mon expérience de stage ; ainsi que pour son accompagnement dans la rédaction de ce mémoire.

Enfin, je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin ces derniers mois et qui m'ont permis d'aller au bout de ce long travail.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| AVANT-PROPOS | 8 |
| INTRODUCTION..... | 9 |
| PARTIE 1 : - CONTEXTE ET LES ENJEUX DES PROJETS IOT DANS LES ENTREPRISES INDUSTRIELLES . | 11 |
| CHAPITRE 1 – SPECIFICITES DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES | 12 |
| I. Classification des entreprises..... | 12 |
| II. Contexte des entreprises industrielles | 12 |
| III. Besoins et contraintes des entreprises industrielles | 13 |
| CHAPITRE 2 – QU’EST-CE QUE L’IOT ? | 15 |
| I. Définition et origines de l’Internet des Objets..... | 15 |
| II. Enjeux et impacts..... | 16 |
| III. Quels sont les défis et les perspectives de l’IoT ?..... | 18 |
| CHAPITRE 3 – LES PLATEFORMES IOT AU CŒUR DES PROJETS..... | 21 |
| I. Les différentes solutions pour mettre en place un projet IoT | 21 |
| II. Les solutions cloud pour l’IoT | 23 |
| III. Comment fonctionnent les services cloud pour l’IoT ?..... | 26 |
| PARTIE 2 - LES FREINS A L’ADOPTION DES TECHNOLOGIES IOT DANS UN ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL..... | 28 |
| CHAPITRE 4 – LA MECONNAISSANCE DES BENEFICES D’UN PROJET IOT..... | 29 |
| I. Des avantages flous pour les entreprises | 29 |
| II. Un investissement conséquent..... | 30 |
| III. Un recul insuffisant sur les projets d’IoT | 31 |
| CHAPITRE 5 – PEUR DE LA COMPLEXITE TECHNIQUE | 33 |
| I. Evolution de l’infrastructure informatique | 33 |
| II. Une faible culture cloud et numérique..... | 34 |
| III. Des risques importants | 35 |
| CHAPITRE 6 – RETICENCES AU CHANGEMENT DE LA PART DES EQUIPES..... | 37 |
| I. Un fort impact organisationnel sur l’entreprise | 37 |
| II. Les freins des dirigeants de l’entreprise | 38 |
| III. Les freins des opérateurs sur le terrain | 39 |
| PARTIE 3 - COMMENT AIDER AU DEVELOPPEMENT ET A L’ACCEPTATION DES TECHNOLOGIES IOT DANS LES ENTREPRISES INDUSTRIELLES | 41 |
| CHAPITRE 7 – L’IOT : UN SECTEUR TOURNE VERS L’AVENIR..... | 42 |
| I. Les innovations liées à l’IoT | 42 |
| II. Des bénéfices qui se concrétisent pour l’industrie..... | 44 |
| III. Une technologie porteuse des transformations et évolutions de l’industrie | 45 |
| CHAPITRE 8 – ENTAMER LA TRANSFORMATION NUMERIQUE DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES..... | 48 |
| I. Un projet IoT, dans quel contexte ?..... | 48 |
| II. Une transformation globale vers une centralisation des processus de gestion de données | 49 |
| III. Accompagner les salariés vers un nouveau rôle..... | 50 |
| CHAPITRE 9 – TIRER PARTI DES RETOURS D’EXPERIENCE SUR CE TYPE DE PROJETS | 53 |
| I. Cas de l’entreprise Bosch : Un des chefs de file de l’usine connectée en France..... | 53 |
| II. L’utilisation concrète des plateformes cloud publiques | 54 |

| | | |
|--|--|-----------|
| III. | La transformation digitale de Michelin..... | 56 |
| CHAPITRE 10 – PROPOSITION D’ACTIONS VISANT A ENCOURAGER LE DEVELOPPEMENT D’UN PROJET IOT | | 58 |
| I. | Accompagner les industriels dans une démarche globale..... | 58 |
| II. | Identifier les transformations prioritaires | 59 |
| III. | Apports et limites du mémoire | 60 |
| CONCLUSION..... | | 62 |

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été écrit dans le cadre de mon stage de fin d'étude en Master 2 d'Intelligence des Données. J'ai réalisé mon stage au sein de VISEO, une ESN (Entreprise de Services du Numériques) française dont les activités s'étendent sur plusieurs continents. L'entreprise accompagne ses clients dans leurs projets digitaux. Elle a plusieurs domaines de compétences principaux, parmi lesquels elle a développé une expertise dans les projets liés à la Data et à l'industrie 4.0.

Lors de mon stage, j'ai travaillé sur un projet d'IoT basé sur la plateforme cloud AWS. J'ai pu découvrir le fait que de nombreuses entreprises industrielles hésitaient à se lancer dans des projets d'IoT. Bien que les avantages soient nombreux, les réticences des industriels à entamer leur transformation digitale persistent. C'est avec l'objectif de trouver des solutions pragmatiques à ce problème que j'ai écrit ce mémoire, en tentant de cerner tous les enjeux soulevés par ce sujet.

INTRODUCTION

Depuis la fin des années 2000, les objets connectés se sont développés très rapidement. Que ce soit pour des usages domestiques ou professionnels, les exemples d'application sont nombreux. Grâce aux progrès techniques, les possibilités deviennent de plus en plus larges, notamment dans le cadre professionnel. Nous traiterons dans ce mémoire le cas du secteur industriel, pour qui les objets connectés marquent un tournant stratégique qui s'apparente à une nouvelle révolution industrielle. De plus, notre analyse se concentre essentiellement sur des pays similaires à la France, c'est-à-dire des pays industrialisés où l'industrie a connu un lent déclin depuis les années 1970.

La révolution industrielle désigne le processus historique qui, à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle et au cours du siècle suivant, a engendré une série de changements profonds dans les techniques de production et a permis un développement plus rapide des industries. Divers facteurs en étant à l'origine parmi lesquels les progrès de la médecine permettant un allongement de l'espérance de vie, les progrès de l'agriculture et l'amélioration des voies de communication. La seconde révolution industrielle, de la fin du XIX^{ème} siècle, reposant quant à elle sur la démocratisation de nouvelles sources d'énergie comme le pétrole ou le gaz.

Ainsi, l'expression « révolution industrielle » s'est élargie de sa définition originelle et a été reprise pour désigner des périodes marquants des bouleversements profonds dans les méthodes de production. Bien que son usage soit controversé, l'expression troisième révolution industrielle est souvent utilisée pour désigner la période de fort développement de l'électronique et de l'informatique. Cela a bouleversé le fonctionnement de l'industrie en simplifiant grandement de nombreuses tâches, grâce à l'utilisation des puces électroniques de plus en plus puissantes et fines.

La troisième révolution industrielle a même rapidement laissé la place à la quatrième révolution industrielle, ou industrie 4.0 (voir Annexe 1 : Frise chronologique simplifiée des révolutions industrielles). L'usage de cette expression est véritablement sujet de controverses tant les limites peuvent paraître floues avec la précédente révolution industrielle. Malgré cela, de nombreuses entreprises du secteur numérique ont déjà commencé à enclencher la marche vers cette nouvelle révolution. En permettant d'intégrer entre elles de très nombreuses technologies pour en tirer tout leur potentiel, l'industrie 4.0 a pour objectif de créer des plateformes globales connectant les personnes, les objets et les lieux pour maîtriser pleinement les processus industriels.

C'est notamment le cas de l'Internet des Objets (IdO). Plutôt utilisé en anglais avec l'acronyme « IoT » (Internet of Things), il désigne l'intégration en réseau d'objets interconnectés qui communiquent des données issues de leurs capteurs. Apparue avec la démocratisation à grande

échelle et à moindre coût des puces électroniques, elle est une des composantes principales de la 4^{ème} révolution industrielle. Cette technologie est en croissance exponentielle, mais malgré des bénéfices évidents, de nombreux industriels hésitent à se lancer pleinement dans des projets IoT.

Nous traiterons la problématique suivante :

Comment limiter les freins à l'acceptation d'un projet « IoT » dans les entreprises industrielles ?

Nous allons évoquer dans un premier temps le contexte spécifique aux entreprises industrielles et les enjeux de l'IoT. Dans un second temps, nous identifierons les freins à l'adoption de cette technologie dans l'environnement industriel. Enfin, nous proposerons des solutions pour favoriser le développement et l'acceptation des technologies IoT dans ces entreprises.

PARTIE 1 :

-

**CONTEXTE ET ENJEUX DES PROJETS IOT DANS LES ENTREPRISES
INDUSTRIELLES**

CHAPITRE 1 – SPECIFICITES DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES

Dans cette partie, nous allons identifier les spécificités de l'entreprise industrielle. Quels sont ses besoins, ses contraintes, et ce qui la distingue des autres types d'entreprises.

I. CLASSIFICATION DES ENTREPRISES

Selon la « loi des Trois Secteurs » proposée par l'économiste français Jean Fourastié en 1947, on distingue trois types d'entreprises : celles du secteur primaire, du secondaire et du tertiaire. Dans le cadre de ce mémoire, nous allons nous concentrer sur les entreprises du secondaire, et particulièrement sur les entreprises dites « industrielles ».

Le secteur secondaire regroupe les entreprises dont les activités principales sont liées à la transformation de matières premières. Le terme d'entreprise industrielle désigne dans notre cas, par extension, les entreprises du secteur secondaire manufacturières. Ce sous-ensemble d'entreprises intègre les industries de transformation de biens, la réparation et l'installation d'équipements industriels et les opérations de sous-traitance. L'optimisation de la chaîne de production étant un enjeu particulièrement majeur pour elles, nous avons choisi de traiter seulement le cas des entreprises manufacturières. Nous avons choisi ce découpage car leur contexte et leurs problématiques sont relativement homogènes, bien que la classification soit suffisamment large.

II. CONTEXTE DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES

En France et dans les pays aux économies similaires, les entreprises industrielles évoluent dans un contexte de désindustrialisation depuis les années 1970. La désindustrialisation désigne le phénomène qui a gagné progressivement les pays dits industrialisés depuis maintenant un demi-siècle. Dans « La désindustrialisation, une histoire en cours », Fontaine et Vigna expliquent que ce processus se caractérise par la conjonction de plusieurs phénomènes : d'une part, la diminution des activités industrielles en elles-mêmes ; et d'autre part, le recul de la part liée à l'industrie dans la production nationale des pays concernés par ce phénomène.

Ce premier point a engendré une forte diminution de l'emploi dans le secteur industriel des pays industrialisés, à l'instar de la France. La part des emplois industriels dans l'emploi total ayant diminué de plus de moitié depuis 1970. Cette tendance se poursuit toujours de nos jours, et ce dans la quasi-totalité des pays autrefois considérés comme industriels. Cette constatation s'explique par plusieurs facteurs : l'obsolescence de certains emplois et la hausse de productivité liés au progrès technique, ou encore par l'automatisation de certaines tâches, notamment les plus répétitives et moins qualifiées. Et enfin, les délocalisations partielles ou totales des activités industrielles de certaines entreprises vers des zones dont les conditions économiques leur sont plus favorables. Ce dernier facteur, symbole de

la mondialisation, a permis de faire grandement diminuer les prix des biens manufacturés, mais a engendré une destruction parfois sans vergogne des emplois dans les pays industrialisés. Les pertes d'emplois liées aux délocalisations faisant souvent grand bruit dans l'opinion publique, c'est un sujet qui peut être majeur pour certaines entreprises.

Le deuxième point est visible dans la figure « Part de l'industrie manufacturière dans la valeur ajoutée de l'ensemble de l'économie en valeur courante », disponible en Annexe 2 : Evolution de l'industrie manufacturière. On constate que la part de l'industrie dans la valeur ajoutée a largement décliné entre 1970 et 2015 dans la plupart des pays dits industrialisés, comme la France, l'Italie ou le Royaume-Uni. Ce phénomène bien visible dans l'Union Européenne s'est déroulé également dans d'autres pays majoritairement inclus dans la mondialisation comme les Etats-Unis ou le Japon. Cela s'explique par l'externalisation de certaines activités et la transformation de l'économie vers des activités de services (tertiarisation)¹. C'est aussi une conséquence du premier point, dans le sens où certaines activités ont dû se réinventer pour rester compétitives, voire pour survivre dans d'autres secteurs plus fortement touchés. On peut également noter une diminution des gains de productivité de l'économie française depuis les années 1990.

Dans les pays comme la France, c'est donc dans un contexte de fort déclin du secteur industriel que les entreprises manufacturières poursuivent leurs activités. Les changements profonds des structures économiques que nous avons décrits obligent les entreprises industrielles à s'adapter pour rester compétitives. Nous allons donc voir quelles sont les contraintes qui pèsent sur ces entreprises, et quelles sont leurs stratégies pour survivre dans ce contexte de mondialisation.

III. BESOINS ET CONTRAINTES DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES

La partie précédente a mis en évidence le contexte économique dans lequel se trouvent les entreprises industrielles. Elles restent en concurrence entre elles mais font également face à la concurrence des industries des pays en développement, où les coûts du travail sont bien moindres. Elles doivent également rester rentables et attractives auprès des investisseurs.

Dans cette partie, nous allons détailler les principales contraintes des entreprises industrielles en France, bien que celles-ci puissent être appliquées aussi à d'autres pays. Dans son rapport publié en février 2014 et intitulé « L'industrie : quels défis pour l'économie française ? », le Trésor Public français note une dégradation de la compétitivité-coût de l'industrie française, qui se traduit par une augmentation du coût du travail, des matières premières et des biens et services de production plus rapide que dans d'autres économies. De plus, toujours selon le même rapport, la capacité d'innovation

¹ « La tertiarisation des activités » Jean Gadrey, dans « Socio-économie des services » (2003), pages 5 à 21

et de différenciation sur des critères hors-prix des industriels français semble moins bonne que celle d'autres économies, notamment Allemande.

En plus des difficultés conjoncturelles, les entreprises industrielles font face à des contraintes spécifiques au secteur. Les principales contraintes du milieu industriel concernent la qualité des biens produits, la gestion des coûts, le respect des délais et la satisfaction des clients. La transformation de matières premières est un processus qui peut être plus ou moins complexe selon le domaine d'activités. Au-delà des contraintes inhérentes à toutes les entreprises, l'industrie implique donc parfois d'autres contraintes d'ordre technique, comme le respect de certains standards ou des conditions de production bien précises. Ces normes garantissent un référentiel commun sur un marché et donc une meilleure interopérabilité entre les produits. On peut citer en exemples les normes ISO, AFNOR ou encore CEN.

Pour réaliser leurs activités de fabrication, les industriels doivent garantir la bonne efficacité de leurs chaînes de production. Cela nécessite un pilotage rigoureux des équipements de production et de qualification mais aussi des sites de production en eux-mêmes. Cela permet de répondre aux risques mentionnés et de garantir une haute qualité dans la production, ce qui est l'un des points critiques chez de nombreux industriels. L'entreprise peut donc plus facilement tenir ses exigences de conformité, mais aussi de délais, de coûts ou de sécurité.

Il leur faut également concentrer leurs efforts sur des processus clés comme la logistique pour tenir leurs délais. Par exemple, selon le contexte, il peut être pertinent d'avoir une traçabilité, à la fois des matières premières en amont (chez le fournisseur) et des biens manufacturés en aval (chez le client). Enfin, la satisfaction des clients tient également de la capacité d'innover pour conserver les marchés acquis. C'est-à-dire apporter des nouveautés aux clients de l'entreprise tout en gardant un haut niveau de qualité pour les retenir.

Toutes ces contraintes peuvent être gérées plus ou moins efficacement et de façon plus ou moins rationnelle. Bien souvent, y compris hors du secteur industriel, les entreprises s'appuient sur des indicateurs de performance pour leur pilotage. C'est là que le challenge du management des données prend toute son importance. Et particulièrement pour l'industrie, qui doit respecter de nombreuses contraintes techniques : respect des normes légales, des standards, des attentes des clients au niveau de la qualité.

CHAPITRE 2 – QU’EST-CE QUE L’IOT ?

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à ce qu’est précisément l’Internet des Objets (IoT). Nous discuterons de la définition de l’IoT et tenterons d’en découvrir les origines. Nous évoquerons également quelques cas d’usages qui permettent de mieux cibler les enjeux et les perspectives de l’IoT. Enfin, nous verrons que l’IoT, par la façon dont il impacte le monde, nécessite de se préoccuper de questions éthiques sous-jacentes.

I. DEFINITION ET ORIGINES DE L’INTERNET DES OBJETS

Le premier emploi de l’expression « Internet des Objets » est à mettre au crédit de l’informaticien londonien Kevin Ashton en 1999². Tombée ensuite dans l’oubli pendant quelques années, l’expression est peu à peu réapparue à la fin de la décennie suivante. Elle désignait alors le réseau d’objets connectés à Internet. Les objets connectés étant alors très peu répandus, et les cas d’usages très peu nombreux, les définitions concernaient plutôt un concept qu’une véritable révolution. La définition de l’IoT a ensuite régulièrement évolué pendant quelques années, en même temps que les usages se diversifiaient.

En 2012, l’Union Internationale des Télécommunications a défini l’Internet des Objets comme étant « [Une] infrastructure globale pour la société de l’information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l’information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ». Cette dernière définition s’est ensuite répandue en même temps que la technologie se développait rapidement. Depuis, les objets connectés ont envahi tous les pans de la société, et jouent déjà un rôle important dans la vie quotidienne de nombreuses personnes. L’IoT peut donc être définie comme un écosystème rassemblant à la fois des objets connectés, des équipements et protocoles de communication et des plateformes de stockage et de traitement de l’information.

Les exemples d’objets connectés sont nombreux, aussi bien dans le cadre des entreprises que dans la vie privée. En premier lieu, on pourrait parler de l’apparition des smartphones à la fin des années 2010. Mais étant des interfaces d’accès à Internet, leur catégorisation au sein de l’IoT est sujette à débat. Selon les définitions, les smartphones et les tablettes ne rentrent pas toujours dans le cadre de l’IoT. Les objets connectés étant avant tout des objets, auxquels des capteurs de tous types y ont été ajoutés, les smartphones sont souvent considérés à part quand on parle d’IoT, malgré les capteurs qui y sont intégrés.

² <https://blog.avast.com/fr/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>

Pour rester dans le champ des objets du quotidien rentrant dans le cadre de l'IoT, les plus connus sont les objets directement portés, comme les montres connectées. On pourrait aussi citer le cas des vêtements intelligents, qui apparaissent de plus en plus dans certains domaines (militaire, sportif, santé, ...). A titre d'indication, en 2020, plus d'une personne sur trois possédait au moins un objet connecté dans son foyer, hors téléphones, enceintes, télévisions et consoles de jeux. Ce nombre a plus que doublé en un an, la pandémie de Covid ayant donné un coup d'accélérateur à l'utilisation de ces appareils.³

Les objets domestiques connectés font quant à eux partie de la domotique, qui vise à rendre les bâtiments intelligents. Dans ce cadre, tous les objets électroménagers ont désormais droit à leurs capteurs pour les rendre « intelligents ». Que ça soit des réfrigérateurs connectés qui affichent leur contenu et dont la température est réglable à distance ou bien des compteurs d'électricité communicants (Linky) qui transmettent des informations liées à la consommation d'énergie et permettent un meilleur pilotage du réseau. Ces deux objets rentrent dans le cadre de l'IoT car ce sont des objets qui existaient déjà bien avant, et qui ont été modernisés grâce à des capteurs ajoutant de la valeur à l'objet. On constate que la plupart des objets peuvent être connectés, ce qui fait qu'il existe une infinité d'objets connectés potentiels dans les habitations.

L'usage d'objets connectés se développe aussi dans les villes (smart city) par les collectivités qui espèrent en tirer des informations utiles pour améliorer la vie de leurs habitants. On peut ainsi citer les poubelles ou les feux de signalisation connectés dans les exemples d'objets connectés de la ville intelligente. Ceux-ci permettent de répondre à des problématiques concrètes et d'optimiser les processus des villes (collecte des déchets et circulation automobile pour nos exemples).

Enfin, le monde professionnel peut également bénéficier de l'IoT. Cela peut se faire à travers la collecte de données qui permettent d'optimiser les consommations des bâtiments ou grâce à des objets facilitant la production et le traçage de biens ou de services. De même pour le secteur agricole, où les cas d'usages sont nombreux. C'est sur les usages professionnels et précisément de l'industrie que nous nous concentrons dans ce mémoire.

II. ENJEUX ET IMPACTS

Le développement de l'IoT se fait de manière exponentielle depuis déjà quelques années et cette tendance devrait se poursuivre dans la décennie à venir. La définition d'objet connecté étant assez large et floue, il peut être difficile de cerner quelles sont les limites entre ce qui est un objet connecté ou non. Pour ces raisons, il est très difficile de donner un chiffre précis du nombre d'objets connectés

³ Baromètre du Numérique 2021, rapport réalisé par le CREDOC.

en France et dans le monde. On peut tout de même donner quelques ordres de grandeurs, en gardant à l'esprit que les chiffres donnés le sont avant tout à titre d'indication.

Selon Statista, il y avait environ 22 milliards d'appareils connectés à l'IoT dans le monde en 2018. Les estimations suggèrent qu'en 2025, ce nombre sera de plus de 38 milliards, et même 50 milliards en 2050. Pour le cabinet d'études de marché américain IoT Analytics, le nombre d'objets connectés était de 12,3 milliards en 2021. Quoi qu'il en soit, le nombre d'objets connectés à travers le monde se compte en milliards, et la tendance est toujours à la hausse.

Au niveau économique, le site Business Insider affirme qu'en 2020, les revenus de l'IoT ont dépassé 212 milliards de dollars dans le monde. Quant à l'IoT d'entreprise, le cabinet IoT Analytics affirme que le marché avait atteint 157,9 milliards de dollars en 2021, avec une croissance de plus de 22% par rapport à l'année précédente. Cette tendance devrait se poursuivre et toujours selon ce cabinet, le marché devrait atteindre 525 milliards en 2026.

L'IoT est donc un sujet majeur des prochaines années. Le développement des objets connectés apporte des solutions à de nombreuses problématiques plus ou moins courantes, qu'elles soient d'ordre général ou très spécifique. En collectant de grandes quantités de données auparavant inaccessibles, l'IoT offre des informations précieuses qui pourront être analysées pour répondre à des problématiques variées.

Parmi les principaux cas d'usages, celui de la consommation optimisée des ressources est un enjeu majeur de l'IoT. En effet, l'analyse des données provenant d'objets connectés peut permettre de détecter les conditions optimales qui induisent une consommation de ressources la plus économe possible. Prenons le cas de la consommation sur un réseau électrique intelligent (smart grid). Tous les compteurs électriques de ce réseau envoient leurs données de consommation en temps réel. Cela va permettre de mieux gérer les fluctuations de demande en électricité et donc d'optimiser la consommation électrique. Néanmoins, le coût environnemental de l'IoT n'est pas négligeable, donc il convient de mesurer les gains potentiels par rapport aux ressources utilisées pour sa mise en place.

On peut également appliquer ce cas à d'autres types de ressources (eau, gaz, etc...). Un autre exemple d'optimisation des ressources énergétiques est celui de l'automatisation du chauffage dans les bâtiments. En récoltant des données notamment grâce à des capteurs de présence, il est possible d'automatiser le lancement du chauffage en analysant les habitudes de ses occupants. Ainsi le chauffage sera lancé automatiquement juste avant que des personnes n'entrent, évitant donc de chauffer toute la journée des bâtiments vides. Tout cela va permettre d'économiser des ressources en énergie, qui sont au cœur des préoccupations sociales et environnementales. Et in fine, permettre d'être plus résilient dans un contexte de réchauffement climatique et de tensions géopolitiques.

Pour les entreprises, les perspectives de l'IIoT sont également très prometteuses. Outre les aspects d'optimisation de la consommation des ressources énergétiques évoquées précédemment, l'IIoT offre un réel potentiel d'optimisation de la chaîne logistique, allant de la production à la livraison. Les gains d'efficacité espérés devraient pouvoir augmenter la productivité de l'industrie. Par exemple, les données d'objets connectés peuvent permettre de détecter des changements anormaux dans la production de l'entreprise. La maintenance prédictive, basée sur les données antérieures collectées par les équipements, permet quant à elle de prévoir quand est-ce qu'une panne va l'affecter, et ainsi permettre de le remplacer avant que la panne n'arrive réellement.

Tous ces points évoqués ne sont que des exemples de cas d'usages de l'IIoT mais permettent de cerner les perspectives offertes. Des applications existent également dans d'autres secteurs d'activité : santé, agriculture, environnement et de nombreux autres. Mais l'IIoT a également un coût et implique des précautions qu'il faut prendre en compte et mettre en balance avec ses avantages. La partie suivante évoquera donc les principaux défis auxquels fait face l'IIoT.

III. QUELS SONT LES DEFIS ET LES PERSPECTIVES DE L'IIoT ?

L'IIoT fait face à de nombreux défis sociétaux qui posent des questions éthiques. Avec l'accroissement très rapide du nombre d'objets connectés, ces questions vont prendre de plus en plus d'importance dans les années à venir. Tour d'horizon des défis que va poser l'IIoT.

Un des points soulevés par l'IIoT est celui de la protection de la vie privée. En collectant des données directement relatives aux individus ou bien à des groupes d'individus, la question de la protection des données personnelles se pose. Le RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) a déjà permis de poser un cadre juridique pour la protection individuelle au niveau européen en permettant aux utilisateurs d'avoir un contrôle plus grand sur leurs données personnelles. Que ce soient les données de leurs clients ou de leurs propres salariés, les entreprises industrielles doivent donc être vigilantes par rapport aux données collectées.

L'IIoT permet aux entreprises de recueillir des données sur de nombreux aspects de leur activité. Mais les données collectées par ces objets sont ensuite parfois stockées et traitées par les entreprises commercialisant ces mêmes objets ou sur des plateformes cloud externes à l'entreprise. Il est donc important de prendre en compte le sujet de la gouvernance de ces données. A qui appartiennent-elles ? Quels usages peuvent-il en être fait ?

Si on va plus loin, les données collectées pourraient servir de façon malveillante ou illégale. On peut donc se questionner sur leur utilisation. Par exemple, la surveillance des employés sur les sites de production pourrait permettre d'y améliorer la sécurité ou l'efficacité de la logistique. Mais d'un autre côté, cela pose des questions éthiques. Cette pratique est déjà encadrée légalement mais le

développement de nouveaux objets connectés pourrait apporter de nouvelles interrogations. Sous couvert de garantir une optimisation du travail, certaines entreprises pourraient être tentées d'installer des objets connectés traquant les activités des salariés, à la fois dans et hors du cadre du travail.

Au niveau juridique, il faut donc garantir une certaine transparence à ce niveau et informer les salariés sur les enjeux de l'IoT. La formation aux dangers que peuvent amener les données personnelles en est un des points les plus importants. Le respect du RGPD par les entreprises est également une notion essentielle. Mais d'un autre côté, il est tout aussi important de ne pas entraver les innovations liées à l'IoT. C'est donc un équilibre qu'il faudra trouver, entre protection individuelle et liberté d'innovation.

Pour les entreprises, il est important de se questionner sur les nouvelles données qui vont être collectées lors de l'achat d'appareils connectés. Qu'est-ce que ces données impliquent en matière de sécurité ou de gouvernance ? La question de la dépendance aux objets connectés prendra également de plus en plus d'importance à mesure du développement de l'IoT. Peut-être en mettant en place des solutions en cas de panne des appareils connectés. Par exemple en diversifiant les infrastructures utilisées (multi plateformes) ou en conservant certains processus directement sur les sites de production.

Outre les questions de gouvernance des données, il faut également s'interroger sur la sécurité des objets connectés. Avec des données toujours plus nombreuses et variées sur les appareils connectés, leur sécurité est au cœur des enjeux. La technologie n'est que rarement exempt de failles, ce qui dans le cas de l'IoT peut amener à des conséquences désastreuses. Les scandales liés aux piratages des données de millions d'utilisateurs sur internet sont déjà courants et très largement médiatisés. De plus, ces données sont parfois sensibles puisque pouvant concerner des personnes ou des objets physiques.

Les infrastructures d'IoT permettant parfois d'interagir avec les objets physiques et donc le monde réel, les conséquences d'une faille de sécurité sont autrement plus importantes que celles concernant les données du monde virtuel. En prenant le contrôle d'objets connectés, il serait possible d'utiliser la technologie de façon malveillante, par exemple en bloquant l'accès à certains appareils ou à certains lieux.

Pire encore, l'accroissement du nombre d'objets connectés pourrait être une arme de plus dans le cadre de conflits géopolitiques. Les failles de sécurité des objets connectés pourraient être utilisées pour déstabiliser la vie ou la politique intérieure d'un pays ennemi. Par exemple en prenant le contrôle des lieux stratégiques de certains pays à cause de leurs objets connectés. Un autre exemple est le cas

du scandale Cambridge Analytica⁴, où les données des utilisateurs sur les réseaux sociaux ont été utilisées pour influencer les intentions de votes aux élections. En collectant plus de données et en ajoutant des interfaces supplémentaires avec le monde virtuel, les risques d'influencer négativement le monde réel sont augmentés.

Dans le cadre des entreprises, il s'agirait plutôt d'espionnage industriel. Des entreprises pourraient être tentées d'utiliser des objets connectés pour s'introduire au sein d'entreprises concurrentes, voire de saboter leurs moyens de production. La cybersécurité est donc un des enjeux les plus importants auxquels devra faire face l'IoT dans les prochaines années, afin d'en limiter toutes les dérives potentielles.

Enfin, le développement rapide de l'IoT pose la question de la soutenabilité environnementale. En effet, l'IoT utilise d'énormes quantités de ressources et d'énergie pour produire les capteurs, batteries et les terminaux des objets connectés puis les acheminer vers leur lieu d'utilisation. Sans compter les réseaux et les infrastructures nécessaires à la communication et au stockage de leurs données.

Tout ceci entraîne un impact environnemental conséquent. Dans le contexte du réchauffement climatique lié aux activités humaines, il convient donc de mesurer la pertinence de l'IoT. Mais tous les appareils connectés ne se valent pas, et l'utilité de connecter chaque objet est sujette à débat. Il faut donc évaluer le bénéfice net qu'apporte l'objet connecté. Il serait mauvais de ne voir les bénéfices de l'IoT seulement sous le prisme de leur apport à la lutte contre le réchauffement climatique. Mais cet axe constitue une bonne partie des avantages de l'IoT. Par exemple, les dispositifs médicaux connectés, bien que n'apportant pas de bénéfice environnemental, peuvent permettre d'améliorer très largement les conditions de vie humaines.

Au contraire, la multiplication de ce qu'on peut appeler des gadgets IoT, c'est-à-dire n'apportant pas de bénéfice réel à la société, pourrait être considéré de plus en plus comme du gaspillage. Dans le contexte où les ressources nécessaires à la construction des objets connectés deviennent rares, il pourra être nécessaire de légiférer dans les prochaines années sur ce sujet, peut-être en créant des classes énergétiques pour les objets connectés, comme c'est déjà le cas pour certains appareils électroménagers. Ainsi, on peut se questionner sur la pertinence de connecter certains objets : tapis de bain, fauteuils ou brosse à cheveux pour prendre des exemples existants.

En plus des questions éthiques auxquelles devra répondre l'IoT, des questions plus concrètes vont se poser sur ce sujet dans les années à venir. On peut parler notamment de la normalisation de l'IoT. Cette problématique concerne l'hétérogénéité des objets connectés et des protocoles de communication vers le réseau. Comme sur d'autres sujets du numérique, il sera peut-être nécessaire de définir une standardisation des protocoles de communication. De même, pour éviter une situation

⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Scandale_Facebook-Cambridge_Analytica

de marché oligopolistique où les géants du numérique détiennent la quasi-totalité des plateformes IoT, il pourrait être nécessaire de trouver des solutions au niveau Européen afin de limiter la dépendance à leur égard.

CHAPITRE 3 – LES PLATEFORMES IOT AU CŒUR DES PROJETS

Les projets d'IoT comprennent plusieurs éléments. Tout d'abord, les appareils connectés ou capteurs qui génèrent différents types de données. De plus, il faut utiliser des réseaux pour connecter ces mêmes objets. Pour cela, il existe différents types de réseaux : les réseaux classiques de communication M2M (Machine to Machine) : 2G, 3G, 4G et maintenant 5G. Mais il existe aussi d'autres réseaux comme LPWAN, SigFox, LoRaWAN et NB-IOT plus adaptés car créés spécialement pour l'IoT. Chacun de ces réseaux est plus ou moins adapté selon les cas d'usages (volume de données, vitesse, types d'objets, etc...). Enfin, il faut utiliser une plateforme IoT pour récupérer les données générées, les traiter et les analyser. C'est elle qui va permettre d'une part de connecter de nombreux objets à Internet et d'autre part de gérer et traiter tout le flux de données recueillies et parfois interagir directement avec ces objets.

I. LES DIFFERENTES SOLUTIONS POUR METTRE EN PLACE UN PROJET IOT

Pour les entreprises, les possibilités sont nombreuses et offrent chacune leurs lots d'avantages et de contraintes qui peuvent être plus ou moins adaptés aux industries. Les plateformes IoT sont des outils qui permettent de connecter une flotte d'objets connectés puis de stocker et d'analyser leurs données à travers une interface informatique.

Pour répondre à leurs besoins, les entreprises industrielles peuvent développer leur propre plateforme IoT, ce qui permettra d'avoir une solution personnalisée. Les coûts d'investissement que cela demande réserve cette option aux plus grosses entreprises industrielles seulement. Sinon, elles peuvent se tourner vers des solutions du marché plus ou moins intégrées. Comme dans tous les projets informatiques, les formules sont diverses : IaaS (Infrastructure), PaaS (Plateforme), SaaS (Software) ou On-Premise (Gestion complète sur site). Les aspects gérés par l'entreprise ou par le fournisseur dans chaque cas sont visibles sur le schéma en Annexe 3 : Différentes solutions de mise en place d'un outil informatique. Chaque solution a ses avantages et ses inconvénients, qui conviendront plus ou moins aux entreprises.

Et les offres pour créer une plateforme IoT sont pléthore. Mais ces solutions ne répondent pas toutes au même besoin. Les solutions traditionnelles sont des logiciels, propriétaires ou open-source, installés directement sur les sites de production des entreprises qui les utilisent et doivent en configurer les

serveurs (solutions on Premise). Ces solutions peuvent être personnalisables pour répondre au besoin précis dans l'entreprise, qui devra en gérer toute l'installation et la maintenance, aussi bien matérielles que logicielles. On pourra citer l'exemple du logiciel ThingWorx dans le premier cas, ou de WebThings, Fiware ou Kuzzle dans le second cas.⁵

Enfin, les entreprises peuvent opter pour des plateformes IoT hébergées sur le cloud. Il s'agit dans ce cas surtout de cloud public, c'est-à-dire des serveurs partagés entre différents clients. Mais il peut également s'agir d'un cloud privé (serveurs uniquement dédiés à une entreprise) ou hybride (Mélange de cloud public et privé). Cette solution permet de déléguer certains aspects inhérents aux projets informatiques de manière générale. Dans ce cas, pas besoin de gérer le stockage des infrastructures et des données ou la connexion des équipements au réseau, ni même le support logiciel. Cela facilite donc grandement le développement de projets IoT, qui nécessitent des ressources importantes.

Parmi les solutions sur le Cloud, on trouve des plateformes d'IoT basées sur le modèle SaaS (Software as a Service). Celles-ci sont gérées directement par l'éditeur, qui en assure l'installation et la maintenance, ce qui facilite la mise en place en entreprise. Néanmoins, ces solutions sont dépendantes de l'éditeur. Il est donc parfois impossible de les personnaliser pour répondre pleinement aux besoins de l'industrie. Les solutions SaaS les plus répandues sont Watson IoT Platform, Pelion ou encore Live Objects.

Les solutions PaaS (Platform as a Service), quant à elles, permettent d'intégrer la solution dans un écosystème cloud, donc sans se préoccuper de l'installation et la maintenance. De plus, l'intégration avec d'autres services du Cloud en fait une solution très privilégiée des entreprises. Les principaux fournisseurs de plateformes cloud ont chacun leur offre pour l'IoT : AWS IoT, Azure IoT et Google Cloud IoT.

La migration complète ou partielle vers le cloud est d'ailleurs l'un des enjeux les plus importants des années à venir. En 2021, selon des études menées par Vanson Bourne auprès de 1700 décideurs de l'IT, plus de la moitié des entreprises représentées utilisaient au moins un cloud public. Mais surtout, près de 80% prévoyaient d'utiliser le cloud dans les 12 prochains mois.⁶

En France, c'est même l'un des axes prioritaires du Programme d'Investissements d'avenir à l'horizon 2030. C'est dans ce contexte de très forte croissance pour le cloud que se développent les projets IoT. C'est donc tout naturellement une solution pertinente pour les entreprises de se tourner vers le cloud pour leurs projets IoT. Les plateformes IoT sur le Cloud ont donc l'avantage de faire partie de tout un

⁵ <https://blog.rtone.fr/comparatif-plateforme-iot>

⁶ <https://www.nutanix.com/enterprise-cloud-index>

écosystème de services qui peuvent interagir les uns avec les autres. Nous allons voir dans la partie suivante quels sont les atouts du cloud pour l'IoT.

II. LES SOLUTIONS CLOUD POUR L'IOT

Nous allons voir dans cette partie quelles sont les principales problématiques d'un projet IoT et quelles sont les réponses apportées par le cloud

Les entreprises qui souhaitent lancer un projet d'IoT font face à de nombreuses problématiques techniques. En plus des appareils à connecter, un projet IoT nécessite des ressources comme pour tout projet informatique : à la fois matérielles (hardware) et logicielles (software). Cela nécessite des serveurs pour stocker les données récoltées et d'autres qui offrent de la capacité de calcul pour réaliser différents traitements sur les données. Il faut également des logiciels qui permettent de gérer tout le côté informatique du projet (connexion des appareils, gestion et traitement des données) en l'intégrant avec les SI existant de l'entreprise pour donner un accès aux salariés travaillant sur le projet. Tout cela en gérant d'autres aspects comme la sécurité et la disponibilité en temps réel.

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, les solutions sont nombreuses et ont toutes leurs avantages et leurs inconvénients. Néanmoins, pour les projets IoT, le cloud semble être une solution offrant aux entreprises de nombreux avantages pour faire face à leurs problématiques actuelles et à venir. Le cloud tel qu'on l'entend ici désigne en fait les offres PaaS (Platform as a Service) des fournisseurs de cloud.

Lorsqu'une entreprise souhaite se lancer sur un projet IoT, elle doit identifier quels sont ses besoins spécifiques liés à son activité. Elle doit donc identifier ses problématiques métiers à prendre en compte dans le choix et la construction d'une solution sur-mesure. Quelles sont les données à collecter et à quel besoin opérationnel cela répond ? Le projet est-il amené à évoluer et à s'agrandir ? Quels sont les SI déjà existants dans l'entreprise ? La réponse à ces questions permet de choisir la solution la plus pertinente. Il peut alors s'agir d'une solution hors du cloud, mais celui-ci aura l'avantage de s'adapter à la plupart des cas d'usages.

Le cloud offre une grande flexibilité grâce aux nombreux services proposés qui s'intègrent les uns avec les autres. Tout est fait pour que les services puissent interagir entre eux. On y trouve des services pour la plupart des besoins liés à l'informatique. Par exemple, la plupart des fournisseurs de cloud proposent des services de stockage de fichiers, de bases de données, gestion de versions, serveurs virtuels et bien d'autres sur leur plateforme. Cela permet aux entreprises ou aux indépendants de construire leurs architectures pour leurs projets informatiques, à la manière de briques de jeux de construction. Il est même possible d'intégrer des solutions externes pour une partie de la solution. Par

exemple, possibilité d'utiliser des outils de visualisation de données hors du cloud, ce qui permet de s'intégrer plus facilement avec les outils déjà utilisés par l'entreprise.

La quantité de données générées par un projet d'IoT dépend logiquement de la taille de ce projet. Mais cela dépend aussi de la complexité des données générées, de leur précision, de leur type, etc... La quantité et la complexité des données peut évoluer tout au long de la vie d'un projet. C'est pourquoi il peut être difficile de déterminer en amont la quantité de données à traiter et à stocker. L'un des principaux atouts du cloud est sans doute sa grande flexibilité. La puissance de calcul des traitements peut s'adapter facilement aux besoins des clients. De même que la taille des serveurs de stockage de ces données.

Un projet hors du cloud nécessitera de passer à travers toute une chaîne d'étapes de validation avec des estimations précises de la quantité de données et donc de son coût. Il faudra ensuite acheter les serveurs nécessaires, puis les installer et les configurer, ce qui peut parfois prendre des mois. Et en cas de changements du besoin, le temps d'adaptation sera lui aussi très long. A l'opposé, avec le cloud, quelques clics suffisent pour obtenir de nouveaux serveurs ou au contraire en supprimer. La gestion de la maintenance des serveurs dépendra quant à elle de l'offre retenue. Par exemple en IaaS, celle-ci doit être faite par l'entreprise, alors qu'en SaaS, c'est le fournisseur qui s'en occupe, faisant augmenter le prix. La facilité de déploiement est donc beaucoup plus grande avec le cloud qu'avec un projet sur site. La mise à l'échelle se fait en quelques instants, voire est automatisée dans certains cas.

Ainsi, les coûts s'adaptent à la taille réelle du projet, et non pas à ses estimations. C'est là l'un des points forts du cloud : dans la plupart des cas on ne paye que ce qui est consommé. Et c'est aussi le cas pour la majorité des services du cloud, ce qui permet in fine des économies importantes, d'autant plus pour les projets dont la taille est incertaine. Mais parfois, cette flexibilité peut tout de même faire exploser les coûts si le cadrage et les estimations n'ont pas été fait de manière rigoureuse. Le choix de la plateforme d'IoT dépend donc des besoins du projet et des caractéristiques de l'entreprise qui va l'utiliser.

Un des autres points forts du cloud est sa grande disponibilité. On peut accéder à ses services partout, à condition d'avoir une connexion Internet, et tout le temps. Avec l'essor du télétravail, la disponibilité des ressources est un enjeu majeur. C'est également possible hors du cloud, mais cela demandera la mise en place d'une infrastructure dédiée, ce qui là encore engendre des coûts importants. Avec le cloud, les salariés de l'entreprise peuvent accéder aux ressources qui leur sont autorisées et ainsi travailler à n'importe quel moment ou depuis n'importe quel endroit, ce qui peut s'avérer très pratique dans certains cas. Dans un contexte de pandémie, pouvoir travailler à distance devient indispensable.

Enfin, les problématiques de sécurité font partie des priorités des entreprises concernant la gestion des risques. En effet, les données qui y sont envoyées sont parfois stratégiques, et donc sensibles, ce qui fait que leur piratage pourrait entraîner des conséquences catastrophiques. On comprend dès lors que les entreprises accordent une part très importante à ce point. Et les fournisseurs de cloud l'ont bien compris puisqu'ils en ont fait leur priorité.

La sécurité du cloud se fait à plusieurs niveaux. On distingue d'une part la sécurité du cloud et d'autre part la sécurité dans le cloud. La première concerne à la fois la sécurité des centres de données physiques, qui sont surveillés et gardés en permanence, mais aussi les moyens informatiques mis en œuvre pour garantir la sécurité des données. Cela passe notamment par le chiffrement des données. Celles-ci sont souvent dupliquées dans plusieurs datacenters répartis dans des zones géographiques différentes, ce qui garantit également un niveau de sécurité supplémentaire en cas d'incident.

Dans le second cas, la responsabilité de la sécurité dans le cloud incombe avant tout à ses utilisateurs. Une grande partie des fuites de données ou des piratages étant dus à des négligences des utilisateurs. Selon le cabinet Gartner, 95 % des défaillances de sécurité du cloud seraient imputables au client. Il est donc primordial de former les entreprises et leurs utilisateurs aux bonnes pratiques de sécurité, et de régulièrement faire des rappels. Il incombe également aux entreprises de mettre en place des moyens de sécuriser leur accès au réseau, notamment via des pare-feux.

La sécurité dans le cloud se fait aussi par plusieurs moyens. Le premier est le SSO (Single Sign-On), qui permet à un utilisateur d'accéder à plusieurs applications en une seule connexion. Cela signifie que seuls les utilisateurs y ayant été invités peuvent accéder au cloud de l'entreprise. Un autre moyen concerne la gestion des accès. Grâce aux politiques de « least privileges », on peut gérer les utilisateurs et les ressources auxquelles ils ont accès. On ouvre des droits d'accès au cas par cas, ce qui limite le risque de donner accès à certaines ressources aux mauvaises personnes. Enfin, on peut parler de la prévention des pertes de données. Les fournisseurs de cloud ont mis en place des outils pour garantir que les données conservées sur le cloud sont protégées des menaces internes (mauvaise manipulation ou sabotage) ou externes (cyber attaques) à l'entreprise.

Pour conclure sur les avantages du cloud pour un projet IoT en entreprise, on peut rappeler que les services du cloud sont déjà fortement utilisés dans les entreprises. Qu'il s'agisse seulement d'applications hébergées (PaaS) ou de toute une infrastructure déployée dans le cloud (IaaS), la culture cloud a déjà commencé à gagner les entreprises. D'après Eurostat, en 2020, 36% des entreprises de l'Union Européenne utilisaient le cloud. Ce chiffre était de 27% pour la France.

III. COMMENT FONCTIONNENT LES SERVICES CLOUD POUR L'IOT ?

Nous allons voir que le Cloud a tous les avantages pour lancer un projet IoT et qu'il est même difficile de s'en passer.

Les plateformes cloud proposent de nombreux services dédiés à différentes tâches. Les plateformes les plus utilisées sont celles développées par les géants du numérique : Amazon via sa division Amazon Web Services (AWS), Microsoft (Azure) et Google (Google Cloud Platform). Ces trois fournisseurs représentaient environ les 2 tiers du marché en 2020.

Désormais l'utilisation de plusieurs plateformes cloud par une entreprise est même chose courante. Selon le rapport de Vanson Bourne, en 2021, près du quart des entreprises recourraient à au moins deux fournisseurs différents pour leurs activités, et la tendance se poursuit. Cela permet aux entreprises de ne pas mettre tous leurs œufs dans le même panier, et donc de moins dépendre d'une seule entité. De plus, cela permet d'utiliser les services les plus aboutis de chaque fournisseur.

Idem pour la maintenance, on peut ajouter ou enlever des briques à sa convenance, en suivant les besoins du projet, et ce de manière très flexible : il suffit de quelques clics à chaque fois ! Ainsi, ce sont les services qui s'adaptent à l'usage et non plus l'inverse. Ils sont directement prêts à l'emploi. De plus, le support autour de ces services est souvent complet, notamment pour les principales plateformes Cloud. On y trouve de la documentation fournie et actualisée en même temps que les services eux-mêmes. De même, les fournisseurs ont mis en place des parcours de formation en ligne sur leurs services, comprenant des tutoriels de mise en pratique. En outre, ils proposent des certifications sur leurs services pour attester des réelles compétences développées.

Le choix de la bonne plateforme pour le bon projet dépend quant à lui de plusieurs facteurs. Il y a souvent des enjeux contractuels qui imposent d'utiliser une plateforme plutôt qu'une autre mais il existe également un certain nombre de critères à prendre en compte. Il faut prendre en compte le lieu de stockage de ses données, même si la plupart des fournisseurs de cloud possèdent des datacenters en Europe. Il est important de vérifier quels sont les avantages de chaque plateforme, et si ceux-ci correspondent aux besoins de l'entreprise. Ainsi, il peut être nécessaire de réaliser un audit de conformité. Le fournisseur doit être de confiance, car c'est à lui que seront confiées les données et l'infrastructure du projet.⁷

La construction d'un projet IoT passe par plusieurs étapes. Nous allons ici nous intéresser à l'opérationnel, sans parler des étapes en amont du projet. L'infrastructure va dépendre de la finalité attendue, mais un projet IoT respectera la plupart du temps les étapes suivantes que nous allons

⁷ <https://azure.microsoft.com/fr-ca/resources/cloud-computing-dictionary/choosing-a-cloud-service-provider/>

décrire. Ici, nous évoquons les services utilisés dans l'ordre de la chaîne de données, de la collecte à la restitution pour les métiers.

Dans un premier temps, il est nécessaire de configurer les appareils connectés. Ceux-ci doivent pouvoir transmettre leurs données via des protocoles de communication. Il existe de nombreux protocoles avec leurs spécificités, il faut donc utiliser les bons outils pour collecter les données. Dans certains cas, notamment quand les appareils connectés sont dans des zones avec des connexions instables, ou quand les volumes de données générés sont conséquents, la solution de l'Edge Computing⁸ peut être pertinente. Il s'agit d'une méthode qui peut être complémentaire au cloud car des traitements vont être mis en œuvre sur les données collectées par l'objet directement sur celui-ci ou au plus proche de celui-ci. Ainsi on évite la transmission d'une grosse quantité de données vers les datacenters (centres d'hébergement des serveurs du cloud), ce qui permet d'économiser de la bande passante et de la capacité de stockage sur le cloud. C'est donc une solution très pratique dans certains cas, mais qui demande un investissement supplémentaire.

Une fois les appareils connectés au réseau, il faut ensuite utiliser des services pour connecter ceux-ci au cloud. Certains services dédiés comme IoT Hub de Microsoft Azure permettent ainsi de connecter les appareils pour autoriser la collecte des données. On peut ainsi gérer le parc de machines connectées directement sur le cloud, en leur créant des jumeaux virtuels.

Il s'agit ensuite de contextualiser les données et d'utiliser les bons outils de traitement. Par exemple, chez Amazon Web Services, cela peut se faire grâce aux services IoT Core pour gérer le flux de données puis IoT Analytics pour y réaliser des traitements.

Finalement, les données collectées pourront être analysées, soit par des manuellement soit via des algorithmes d'intelligence Artificielle. Chez Google Cloud, on pourra utiliser Smart Analytics ou encore Vertex AI pour réaliser ces étapes.

Toutes ces étapes sont des exemples de services des principaux fournisseurs de cloud pour créer une architecture de projet IoT. En pratique, les services utilisés seront souvent ceux d'un seul fournisseur pour un projet. Il existe également tout un tas de services de support à cette architecture, que ce soit pour le stockage des données, la gestion des logs, la gestion d'évènements, le déploiement automatisé d'infrastructures, etc... Il reste nécessaire de garder à l'esprit que le cloud permet justement une grande modularité, et que celui-ci est adaptable à la plupart des cas d'usages, avec plus ou moins d'automatisation.

⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Edge_computing

PARTIE 2

-

LES FREINS A L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES IOT DANS UN ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

CHAPITRE 4 – LA MECONNAISSANCE DES BENEFICES D’UN PROJET IOT

L’IoT industriel (IIOT) est un sujet source de nombreuses promesses depuis plus d’une décennie. Vue comme une technologie d’avenir avec un grand nombre d’avantages, son développement réel n’est pourtant pas si important. Les raisons pour lesquelles les entreprises industrielles ont du mal à se lancer sur des projets IoT sont nombreuses. Dans ce chapitre, nous allons voir que les entreprises manquent d’un recul concret sur le sujet qui leur permettrait d’en voir tous les bénéfices.

I. DES AVANTAGES FLOUS POUR LES ENTREPRISES

Les entreprises industrielles ont des besoins très concrets et précis. L’IoT peut aider à aller dans ce sens mais encore faut-il en connaître tous les enjeux. Les entreprises ont parfois du mal à déterminer quels avantages elles peuvent tirer de l’Internet des Objets. Il est donc difficile de se lancer car la balance bénéfices/coûts semble incertaine.

Les entreprises ont besoin d’avoir des chiffres précis pour calculer la rentabilité d’un projet, ce qu’on appelle le ROI : Retour sur investissement en français. Il faut déterminer ce que l’entreprise va gagner en lançant ce projet, et ce par rapport aux coûts que cela va engendrer. Dans le cas de l’IoT, cette tâche peut s’avérer ne pas être une chose aisée. Le périmètre des bénéfices apportés est relativement large et les imbrications sont nombreuses. De ce fait, il peut être difficile de déterminer quelle part des bénéfices sont à attribuer à l’IoT. Les avantages globaux sont souvent connus des preneurs de décision, mais ils peuvent parfois être mal compris. De plus, certains ont du mal à voir l’intérêt direct de ces technologies, en se disant qu’elles ne sont pas adaptées spécifiquement au secteur industriel.

De plus, parmi les entreprises qui se sont lancées dans l’IoT, certaines n’y sont pas allées en ayant un recul suffisamment important et ne se sont pas lancées pleinement. Elles ont donc pu connaître des échecs, et l’IoT ne leur a pas forcément montré tous ses avantages. Ainsi les bénéfices à en tirer peuvent être sous-estimés à cause de précédentes expériences insatisfaisantes, ce qui limite le développement de nouveaux projets.

Pour finir, on peut noter que certaines technologies liées à l’IoT sont tout juste matures sur le sujet, ce qui peut aussi limiter le potentiel de l’IoT alors que le spectre des bénéfices espérés dans les années à venir est beaucoup plus large. Et ce d’autant que les projets IoT s’inscrivent dans des tendances de long-terme. Les avantages sont donc assez flous pour certaines entreprises, de même que les investissements, ce qui peut compromettre le développement de projets IoT.

II. UN INVESTISSEMENT CONSEQUENT

Nous avons montré que déterminer les bénéfices de l'IoT pouvait s'avérer plus difficile que dans le cas de projets informatiques plus classiques. D'autant que les investissements sont également conséquents et parfois difficiles à estimer, ce qui peut engendrer des difficultés à calculer un ROI exact, que ce soit en amont du projet ou une fois celui-ci réellement mis en place.

Dans certains cas, le chantier pour mettre en place des projets IoT suffisamment résilients peut s'avérer titanesque. Par exemple pour une entreprise dont les outils sont vieillissants et dans un secteur avec des contraintes fortes. C'est donc un investissement énorme que certaines entreprises ne peuvent pas se permettre, alors même que les gains sont bien connus. Les aspects d'un projet IoT à prendre en compte sont nombreux.

Il faut déjà remplacer certains appareils vieillissants ou en acheter de nouveaux qui seront capables de s'intégrer dans un écosystème IoT. Les machines productives étant souvent très spécifiques à un secteur d'activités, le choix peut être relativement limité, et il faut parfois faire avec des équipements peu adaptés, ce qui renforcera la complexité de mise en place du projet.

Une grosse partie du budget d'un projet IoT provient de l'achat et la mise en place de capteurs à grande échelle. Le coût peut aller jusqu'à plus d'un million d'euros dans le cas de grands projets. Le prix dépend aussi du type de capteur utilisé, par exemple un GPS a un coût supérieur à un capteur de température. De plus, le coût des réseaux de communication mis en place est également à prendre en compte. Et là encore, les protocoles de communication utilisés par les objets connectés font varier le prix unitaire du capteur. Mais ces coûts peuvent être difficiles à chiffrer pour des non spécialistes.

En plus des machines connectées, les outils numériques doivent parfois être changés dans le même temps. Comme pour les appareils, ce sont parfois des outils spécifiques, qui devront donc être adaptés par le fournisseur dans le cas de logiciels faits sur-mesure. Dans d'autres cas, il sera possible de changer d'outil sans trop de problèmes, mais il faudra déterminer quelles sont les contraintes auxquelles le nouvel outil devra répondre. Il faudra également intégrer les coûts de remplacement de l'objet en cas de panne.

Enfin, les projets IoT sont majoritairement associés au Cloud. Si désormais de nombreuses entreprises utilisent au moins un service cloud, l'IoT est une opportunité de migrer une partie de ses processus sur le Cloud. Les coûts de migration en eux-mêmes, auxquels il faut ajouter la définition et la mise en place d'une nouvelle infrastructure de données, peuvent s'ajouter aux autres coûts liés au projet.

Si pour certaines entreprises le passage à l'IoT ne représentera pas de gros bouleversements dans l'organisation des systèmes d'information, pour d'autres, cela peut devenir une tâche faramineuse qui en empêchera le développement. Pour les PME notamment, les coûts de mise en place de l'IoT puis de support et de maintenance de ces technologies peuvent être difficiles à supporter, d'autant que par leur plus petite taille, il leur est moins facile de réaliser des économies d'échelle sur les capteurs. Néanmoins, les avantages financiers d'une migration vers le cloud peuvent parfois arriver rapidement.

III. UN REcul INSUFFISANT SUR LES PROJETS D'IOT

Nous avons vu qu'il pouvait être difficile de calculer le ROI de projets d'IoT, les facteurs étant parfois flous ou mal compris. Mais on peut également ajouter que le recul insuffisant provient avant tout d'une technologie qui reste émergente. Certes, le marché de l'IoT a beaucoup évolué depuis une décennie et les outils ont largement gagné en maturité. Mais le manque de recul provient aussi du manque de cas réellement mis en place dans l'industrie.

En effet, peu d'entreprises ont déjà lancé leur transformation numérique dont l'IoT est un des aspects les plus importants. Un gouffre existe entre les prototypes d'usines connectées et leur déploiement massif. Ainsi, les industriels ont donc peu d'exemples sur lesquels se baser pour prendre la décision d'aller vers l'IoT. Les cas qui existent et qui sont couronnés de succès peuvent être dans des secteurs d'activité bien différents, même en restant dans le cadre industriel. Bien souvent, les entreprises similaires ne se sont elles-mêmes pas lancées.

On sait que les entreprises fonctionnent par mimétisme au sein d'un même champ organisationnel (DiMaggio et Powell, 1983).⁹ Comme pour les individus, les entreprises vont chercher à se conformer à la norme. Certaines entités seront plus enclines au changement quand d'autres ont plutôt une tendance à suivre la norme. Or dans le cas de l'IoT, peu d'entreprises se sont réellement lancées, ce qui ne pousse pas les autres à se lancer à leur tour pour se conformer, la norme étant plutôt à l'usage de technologies traditionnelles.

On peut se dire que cette tendance va changer dans les prochaines années, grâce à tous les nouveaux avantages de l'IoT. Ainsi, en voyant le déploiement concret de projets chez les concurrents et l'avantage que cela leur apporte, on peut raisonnablement penser que le développement de nouveaux projets d'IoT va s'accélérer dans les prochaines années par inertie.

Le manque de recul et d'expérience sur les projets d'IoT fait que les dirigeants d'entreprises industrielles ont du mal à se projeter. De manière concrète, ils ne savent pas par quel bout commencer,

⁹ « Institutionnalisation des technologies de l'information et mythes : le cas du Big Data » (Virginie Bilet, Miguel Liottier), dans *Gestion 2000* 2019/3 (Volume 36), pages 15 à 37

quelles technologies choisir ou quelles sont les priorités de déploiement. Enfin, ne connaissant pas bien les implications de projets IoT, les entreprises pourraient être frileuses de se lancer à cause de la peur de coûts cachés. Les coûts cachés sont ceux qui n'ont pas été identifiés lors du cadrage du projet, et qui par conséquent ne rentrent pas dans la comptabilité des entreprises. Cette peur est rationnelle car les entreprises craignent l'asymétrie d'information à cause du faible nombre de projets IoT. Les fournisseurs d'outils liés à l'IoT pourraient, volontairement ou non, sous-estimer les coûts de mise en place pour inciter les entreprises à se lancer.

CHAPITRE 5 – PEUR DE LA COMPLEXITE TECHNIQUE

Certains défis liés à la mise en place d'un projet IoT sont de nature à faire peur aux entreprises industrielles. Les challenges sont nombreux. Tout d'abord au niveau technique : l'infrastructure informatique sera amenée à évoluer pour répondre aux contraintes de l'IoT. De plus, il faudra réussir cette transformation dans un milieu où la culture numérique est parfois assez hétérogène. Enfin, il existe des risques importants à cette mise en place, ce qui peut rebuter les industriels.

I. EVOLUTION DE L'INFRASTRUCTURE INFORMATIQUE

Un projet d'IoT nécessite de travailler sur la conduite du changement en entreprise. L'organisation structurelle est amenée à évoluer pour faire face aux défis de ces technologies.

Les infrastructures informatiques des entreprises industrielles étaient traditionnellement séparées en deux composants distincts. D'un côté, la partie IT (Information Technology), soit Technologies de l'Information, regroupait toute l'infrastructure dédiée au bon fonctionnement des services commerciaux, administratifs et financiers. De l'autre, l'OT (Operational Technology) désignait les ressources informatiques utilisées pour les outils de production. L'IoT regroupant ces deux types de ressources, ceux-ci sont de plus en plus décloisonnés et on assiste même à une convergence croissante entre ces technologies.¹⁰

Cette convergence permet une meilleure disponibilité de l'information au sein de l'entreprise, en supprimant des barrières structurelles. Le pilotage des entreprises industrielles en est donc facilité. Ce phénomène est étroitement lié au développement de l'IoT, puisque celui-ci se fait dans un contexte où la disponibilité des données est la priorité. Mais cela représente un risque, puisqu'il faut pouvoir gérer des nouvelles interfaces et la connexion des anciennes infrastructures. Les risques de nouvelles failles de sécurité sont aussi à prendre en compte par les techniciens et administrateurs système. Tout cela augmente donc la charge de travail de déploiement d'un projet IoT.

En plus de cette transformation structurelle, les ressources de l'IoT doivent parfois s'intégrer avec ces infrastructures. Les technologies utilisées étant souvent différentes, d'autant que celles de l'IoT sont récentes pour l'essentiel, alors que celles des autres infrastructures sont parfois obsolètes. Il faut donc réussir à intégrer les ressources aux systèmes existants.

Dans d'autres cas, les entreprises qui veulent se lancer dans des projets IoT vont vouloir migrer certains de leurs services sur le cloud pour gagner en efficacité et limiter les coûts de leur infrastructure. Cette migration va donc être un chantier important, qu'il faut bien cadrer pour être

¹⁰<https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1498003-les-6-defis-de-l-informatique-industrielle-pour-les-5-prochaines-annees/>

réussi. La nécessité d'avoir des équipes informatiques expertes, qui maîtrisent à la fois les enjeux techniques et les problématiques stratégiques permettant une bonne vision d'ensemble est cruciale. Que ce soit avec des équipes internes ou bien d'entreprises de services du numérique (ESN), les coûts sont élevés. Cela peut donc freiner les industriels à se lancer dans l'IoT, en voyant les changements structurels et les compétences que cela implique bien souvent.

II. UNE FAIBLE CULTURE CLOUD ET NUMERIQUE

Un des autres freins au développement de l'IoT industriel concerne la faible culture numérique qui existe parfois au sein de ces entreprises.

Certains dirigeants d'entreprises industrielles qui veulent se lancer dans des projets IoT se sentent perdus devant l'ampleur des travaux. Notamment dans les plus petites entreprises, les moyens dédiés aux ressources informatiques sont parfois assez faibles car les entreprises se consacrent en priorité à leur cœur de métier. De même, dans certains domaines, les entreprises industrielles se sont assez peu préoccupées des ressources informatiques. Cette faiblesse a pu s'accroître au fil des années, à mesure que les technologies évoluaient et progressaient continuellement.

Dans de nombreux cas, les technologies utilisées par les entreprises industrielles sont donc vieillissantes, voire obsolètes. En conséquence, l'inexpérience sur les technologies plus récentes les empêche d'avoir une vision claire du travail à effectuer. Ce manque d'expérience dans le numérique peut constituer un frein important au développement de nouveaux projets, dont ceux liés à l'IoT. Néanmoins, on peut noter la grande hétérogénéité des entreprises industrielles en matière de maturité numérique, certaines étant bien plus avancées que d'autres.

Cela pose donc la question de la capacité à mettre en place toute une infrastructure d'IoT dans un premier temps, puis d'exploiter les données collectées dans un second temps. D'autant que parfois, peu de moyens sont consacrés à l'exploitation de données. Les infrastructures et process déjà mis en place respectent-ils des bonnes pratiques ? Sont-ils compatibles avec les technologies plus récentes ? Ce sont des questions que certaines entreprises industrielles peuvent se poser à propos de leur maturité numérique. Ce manque de recul peut refroidir les volontés des industriels de se lancer dans des projets IoT de grande ampleur.

Cette faible culture informatique peut empêcher les industriels de prendre les bonnes décisions quant aux projets IoT. Pire, des mauvais choix pourraient compromettre la réussite du projet à long-terme, au vu des coûts de l'IoT. Dans les freins à l'IoT qui reviennent régulièrement lors des sondages, les industriels pointent souvent le fait qu'ils se sentent perdus devant l'ampleur du défi. Par quel côté faut-il commencer ? Quels outils choisir ? Quels cas d'usages sont les plus intéressants ? Quelles sont

les différences avec un projet informatique plus classique ? Les questions pratiques sur la mise en place de l'IoT sont nombreuses et restent bien souvent sans réponse.

III. DES RISQUES IMPORTANTS

En plus des freins techniques évoqués précédemment, les projets IoT amènent des risques supplémentaires dans un milieu déjà en tension. Le risque principal est financier. Les enjeux sont importants : d'un côté les promesses de l'IoT sont énormes, mais de l'autre, le ticket d'entrée n'est pas négligeable. Le risque est donc de se lancer dans un projet et que celui-ci ne tienne pas ses promesses de retour sur investissement, tout en ayant engagé de lourdes dépenses. Le risque que le projet n'aboutisse pas du tout est réel. Les causes d'échec sont nombreuses et font peser des risques importants, surtout pour les plus petites entreprises.

On peut déjà évoquer les risques techniques. La construction d'une infrastructure résiliente nécessite des compétences pointues et une expérience de ce genre de projets. L'architecture déployée peut ne pas être suffisamment robuste pour supporter les contraintes de l'IoT. Ainsi, elle sera vite dépassée ce qui peut empêcher de traiter efficacement les données. Cela empêchera donc l'IoT de tenir toutes ses promesses et pourra faire grimper les coûts de l'infrastructure. Ce risque technique est un frein important à l'IoT.

Les risques financiers sont également importants. Mais en plus des éléments exposés, on peut ajouter que la méconnaissance des sujets liés à l'IoT pourrait entraîner une sous-estimation des coûts des projets. Cela pourrait être dû à un cadrage insuffisant et donc des dépenses non prises en compte en amont du projet ; ou encore par des surcoûts liés aux risques que nous avons identifiés.

De plus, en étant dépendant de fournisseurs de services cloud, les entreprises industrielles pourraient avoir le sentiment de perdre la gouvernance de leurs infrastructures. Certes, les principaux fournisseurs de plateformes cloud possèdent des datacenters dans de nombreuses régions du monde. L'entreprise pourra donc choisir au moins le continent voire la région dans laquelle sont stockées ses données, ou encore la configuration des serveurs utilisés. Mais malgré tout, la peur de la dépendance peut être forte : en s'engageant avec un fournisseur, il est plus difficile d'en changer en cas de mécontentement si les infrastructures déployées y sont conséquentes, comme dans le cas de l'IoT.

Pire, le risque de dépendance de l'usine aux outils d'IoT constitue une menace importante pour l'activité de l'entreprise. Par exemple, le fait que l'usine devienne dépendante du cloud utilisé est un obstacle important. Cette crainte de la dépendance aux fournisseurs de solutions pour l'IoT est pourtant rationnelle. On peut citer le cas de Google Cloud Platform, qui a annoncé en août 2022 la

fermeture de son service IoT Core à partir de 2023.¹¹ Cette interruption définitive de ce service nécessite de trouver des solutions de remplacement pour les entreprises l'utilisant. Cela peut donc faire exploser les coûts liés à ce changement et effrayer les industriels qui hésiteraient à se lancer.

En plus de la dépendance aux plateformes d'IoT, les entreprises peuvent redouter de devenir dépendantes d'autres acteurs comme les ESN. En laissant toute la charge de développement du projet à un acteur extérieur à l'entreprise, la montée en compétence des équipes opérationnelles n'est pas garantie. Ainsi, en cas de rupture de partenariat, la maintenance de l'infrastructure IoT peut être fortement compromise.

Cela pose également la question de la dépendance de l'usine à la technologie. Que faire en cas de problème réseau de longue durée ? Ou en cas d'indisponibilité quelconque de la plateforme d'IoT ? Alors que la gestion des délais est primordiale dans le monde industriel, cela pourrait pénaliser les activités de production et donc la raison d'exister de l'entreprise.

Tous ces risques pèsent fortement dans la balance des avantages et inconvénients de l'IoT. Cela renforce donc l'importance de toute la préparation du projet et de la définition d'une infrastructure informatique résiliente.

¹¹ <https://www.lemagit.fr/actualites/252524108/GCP-programme-la-fin-de-Google-IoT-Core-pour-2023>

CHAPITRE 6 – RETICENCES AU CHANGEMENT DE LA PART DES EQUIPES

Les projets IoT sont porteurs de grands changements dans les entreprises industrielles. Nous verrons dans ce chapitre quels sont les changements les plus notables dans l'organisation de l'entreprise. Nous montrerons également que les changements techniques peuvent être parfois difficilement acceptés en entreprise, que ça soit du côté des dirigeants ou des salariés, et ce même quand l'avantage pourrait sembler évident.

I. UN FORT IMPACT ORGANISATIONNEL SUR L'ENTREPRISE

La mise en place de l'IoT a pour but d'améliorer l'efficacité des entreprises en optimisant la consommation et l'utilisation de ses ressources. Que ce soient des ressources humaines, informatiques, opérationnelles, toutes les composantes de l'entreprise sont concernées. Il est nécessaire de réorganiser les processus internes car certaines activités sont automatisées ou modifiées. Il faut donc impliquer toutes les parties prenantes pour mener à bien ces projets.

Cette tâche peut s'avérer délicate à cause des nombreux blocages aux changements dans l'entreprise. La culture d'entreprise est un facteur important : certaines organisations sont plus réfractaires au changement alors que d'autres vont mettre l'accent sur l'adaptabilité. Pour les premières, la mise en place d'un projet IoT peut être d'autant plus compliquée.

La réorganisation des services peut permettre de pleinement tirer parti des avantages liés à ces projets. L'IoT entraînant des gains de productivité et libérant les humains de certaines tâches, des postes ou mêmes des services entiers de l'entreprise peuvent perdre leur utilité. Ils peuvent donc être réaffectés à d'autres travaux ou services, parfois après formation. Ces changements peuvent faire peur et freiner le développement de projets IoT.

De plus, ces changements peuvent parfois déstabiliser l'ordre établi et la hiérarchie interne. Il peut être difficile de faire évoluer des structures organisationnelles qui sont comme « gravées dans le marbre » depuis des dizaines d'années. Il y a donc une inertie organisationnelle dans les entreprises : les changements prennent du temps.¹² Ce phénomène n'est pas si négatif qu'on pourrait le croire car il garantit en fait une certaine stabilité, facteur important de la réussite d'une entreprise. Mais dans le cas de l'IoT, cela constitue un obstacle qui l'empêche d'atteindre tout son potentiel.

Des freins peuvent donc être rencontrés si les enjeux de ces projets ne sont pas bien compris ou n'impliquent pas toutes les parties prenantes. Ces dernières ayant un but commun mais des intérêts parfois divergents, l'un des points clés est de réussir à transmettre l'information et à convaincre

¹² <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/l-inertie-des-organisations-obstacle-au-monde-d-apres-849483.html>

l'ensemble de l'entreprise de l'intérêt du projet. Cela peut constituer un défi, qui dépend aussi de la culture de l'entreprise.

II. LES FREINS DES DIRIGEANTS DE L'ENTREPRISE

Comme nous l'avons vu, les changements organisationnels, qui s'opèrent de manière conjointe au déploiement des projets IoT, impliquent de prendre en compte l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise. Mais dans un premier temps, il est nécessaire de convaincre les équipes dirigeantes de l'intérêt de ces technologies, car ce sont eux qui prennent la décision de se lancer sur ces projets. Cela peut parfois s'avérer complexe à cause de certaines réticences.

Nous avons vu qu'il était nécessaire d'impliquer toutes les parties prenantes de l'entreprise pour réussir ses projets d'IoT. Or dans certains cas, les équipes techniques sur le terrain peuvent être demandeuses de nouveaux équipements pour avoir un meilleur contrôle de la chaîne de production. Face aux implications de l'IoT, les équipes dirigeantes peuvent parfois être frileuses face à ce besoin et donc freiner les nouveaux projets d'IoT.

Ces réticences peuvent aussi venir des managers car les projets d'IoT amènent des changements organisationnels. Avec l'IoT, les opérateurs vont être plutôt guidés pas l'Intelligence Artificielle basée sur les données collectées. Cela leur laisse moins de marge de manœuvre pour l'organisation de l'opérationnel, ce qui peut leur donner un sentiment de perte de contrôle. Le défi est donc d'arriver à inclure les managers et à aligner le management opérationnel avec la direction générale sur les transformations liées à l'IoT.

Les projets IoT augmentent aussi les risques légaux, non seulement à cause d'éventuels piratages, mais également à cause d'un mauvais usage des données collectées. Si celles-ci sont utilisées à mauvais escient ou si leur traitement ne respecte pas les contraintes légales (par exemple le RGPD), l'entreprise s'expose à des grosses amendes. Ainsi, la mise en place d'un projet IoT demande d'être informé sur la législation et sur les bonnes pratiques concernant les données, surtout si elles sont confidentielles, personnelles ou sensibles. Cela peut donc augmenter les coûts du projet, soit pour se conformer en cas de manquements aux obligations légales, soit pour s'entourer pour prévenir ces risques (avocats, experts, entreprises de conseil, délégués à la protection des données).

De plus, les failles de sécurité d'une infrastructure IoT mal protégée pourraient coûter cher aux entreprises. Que ce soit par des piratages empêchant le bon fonctionnement des objets connectés ou des plateformes IoT, qui pourraient même être ciblés par des demandes de rançon (ransomware). De plus, l'IoT connectant le monde virtuel avec les objets réels, les conséquences d'un piratage pourraient affecter toute l'activité de l'entreprise.

Enfin, la fuite de données confidentielles pourrait compromettre la réputation de l'entreprise, voire l'exposer à des risques légaux. Les objets connectés étant de nouvelles portes d'entrée au réseau de l'entreprise, les risques de sécurité liés à l'IoT sont importants. Cela pourrait donc augmenter les réticences des dirigeants d'entreprises industrielles car leur responsabilité pourrait être engagée.

Les risques liés à la modernisation des usines et donc à la mise en place de l'IoT leur font peur. Mais le manque d'ambition au niveau technologique provient aussi de leur grande responsabilité. En cas d'échec d'un projet de grande envergure, les dirigeants pourraient être tenus pour responsables, ce qui ne favorise pas le développement de l'IoT, projet dont les risques sont mal connus. Cette responsabilité est donc un facteur limitant dans le développement de projets IoT.

III. LES FREINS DES OPERATEURS SUR LE TERRAIN

En plus des réticences des équipes dirigeantes de lancer des projets IoT, certains salariés d'entreprises industrielles peuvent aussi exprimer leur opposition à ces projets. Par les changements structurels de l'entreprise que cela engendre, les freins peuvent être nombreux. Si certaines équipes se sentent exclues des changements, elles peuvent exprimer leurs réticences et donc compromettre le bon déploiement des nouveaux projets.

L'Internet des Objets fait partie d'un ensemble de technologies qui forment l'industrie 4.0. Celles-ci vont permettre aux industries d'automatiser certaines tâches, ce qui va impacter les emplois dans l'industrie. D'après une estimation de l'OCDE en 2021, l'automatisation constituerait un risque pour 14% des travailleurs, avec de grandes disparités selon les secteurs et les pays. L'automatisation et la robotisation vont remplacer le travail de certains employés, permettant à l'entreprise de gagner en productivité. Se sentant menacés par la perte de leur emploi, ils pourraient exprimer leur opposition à ces projets et faire obstacle à leur développement (grèves, dégradations, blocages, etc..).

En plus des licenciements ou non remplacement des salariés, l'IoT et son écosystème pourraient transformer bon nombre de métiers de l'industrie. Les opérateurs sont les plus fortement impactés par le développement des usines connectées, mais les métiers de support pourraient également être touchés. Les changements dans l'organisation du travail, des compétences et des rôles peuvent être mal acceptés par certains. Il existe des barrières psychologiques à l'adoption de nouvelles technologies chez un certain nombre de personnes¹³, ce qui là encore peut constituer un frein important à l'IoT dans l'industrie.

De même, les changements technologiques engendrés par l'IoT peuvent trouver des oppositions parmi les employés. L'acceptabilité en amont d'une nouvelle technologie dépend de la perception

¹³ Richard P. BAGOZZI, Kyu-Hyun LEE, 1999. "Resistance to Innovations: Psychological and Social Origins"

donnée à ses futurs utilisateurs. Ils vont donc anticiper les bénéfices qu'ils vont en tirer par rapport aux efforts de prise en main (utilité, facilité d'utilisation, respect des normes de groupe, image de soi par rapport à l'usage de la technologie). Selon ce ressenti, ils pourraient donc être enthousiastes ou au contraire sceptiques face à l'usage de cette technologie.¹⁴

L'acceptation de la technologie une fois celle-ci mise en place est également à prendre en compte. A cette étape, les salariés vont faire face à cette technologie. Selon le contexte de mise en place, la personnalité des utilisateurs et la culture professionnelle de l'entreprise, l'acceptation de l'IoT pourrait être plus ou moins facile. En effet, des salariés désintéressés pourraient essayer de limiter le développement de futurs projets ou freiner les projets en cours, volontairement ou non.

Le contexte social autour de l'IoT est donc un élément primordial à prendre en compte pour mettre en place ces projets. Un scepticisme voire un rejet largement répandus parmi les salariés pourraient se propager à toute l'organisation. Dans certains cas, cela pourrait même gagner le grand public ce qui pourrait donner une mauvaise image de l'entreprise.

Dans des cas moins extrêmes, cela pourrait tout de même inciter la direction à annuler le développement de projets IoT. Les réticences potentielles des utilisateurs à l'adoption de ces nouvelles technologies sont donc des freins à l'IoT dans le milieu industriel, qu'il est nécessaire d'évoquer, puisque pouvant impacter directement la décision de se lancer ou non.

¹⁴ L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? (Marc-Éric Bobillier-Chaumon, Michel Dubois)
Le travail humain 2009/4 (Vol. 72), pages 355 à 382

PARTIE 3

-

COMMENT AIDER AU DEVELOPPEMENT ET A L'ACCEPTATION DES
TECHNOLOGIES IOT DANS LES ENTREPRISES INDUSTRIELLES

CHAPITRE 7 – L’IOT : UN SECTEUR TOURNE VERS L’AVENIR

Nous verrons que l’IoT est un secteur qui évolue très vite. Les services cloud s’améliorent continuellement, les enjeux des projets sont mieux compris grâce à un recul plus important. Nous verrons dans ce chapitre quelles sont les perspectives de l’IoT industriel à mettre en avant pour convaincre les entreprises industrielles de se lancer.

I. LES INNOVATIONS LIEES A L’IOT

A. *Des plateformes en progression constante...*

Le développement de projets IoT nécessite des technologies et des architectures qui respectent de nombreuses contraintes. Les outils numériques doivent être suffisamment fiables, pour traiter les grosses quantités de données générées par les objets connectés sans les déformer ou en perdre du contenu. Tout comme les objets connectés eux-mêmes, ainsi que leurs capteurs qui collectent les données. Mais ces technologies perdraient tout leur sens si elles n’étaient pas supportées par des infrastructures robustes, permettant d’acheminer l’information d’un bout à l’autre de la chaîne. Le développement de projets IoT devient de plus en plus facile grâce à des services, des technologies et des infrastructures qui s’améliorent continuellement. Le secteur évolue très vite, et de nouveaux cas d’usages apparaissent régulièrement.

Les services cloud sont développés en bénéficiant de la grande expertise technique des fournisseurs en matière d’outils numériques. Ceux-ci sont mis à jour régulièrement, pour apporter des fonctionnalités supplémentaires ou pour corriger d’éventuels bugs ou failles de sécurité. Tout cela garantit des performances de haut niveau pour créer les architectures nécessaires à un projet informatique, dont des projets IoT.

L’ajout de nouvelles fonctionnalités aux services a lieu aussi régulièrement. Les équipes des fournisseurs de cloud travaillent d’arrache-pied pour enrichir les services. On peut voir dans l’Annexe 4 : Extrait des améliorations des services IoT d’AWS » un exemple des dernières améliorations de services IoT à l’été 2022. Cela permet donc de répondre à des besoins toujours plus nombreux, et de configurer les services au plus près des besoins des entreprises, ce qui permet là aussi d’optimiser les architectures. Le fait d’avoir une plateforme unique change de paradigme par rapport aux anciennes solutions On Premise. Plutôt que sortir des nouvelles versions de logiciels, les services sont mis à jour continuellement et prennent en compte les retours d’utilisateurs. Cette interaction avec les clients permet de faire évoluer les outils rapidement et pragmatiquement.

B. ...Portées par des outils performants

En plus des services, le matériel des fournisseurs de cloud s'améliore aussi régulièrement, porté par les innovations technologiques. Surtout pour les gros du secteur, la tendance est à la fabrication de matériel informatique (hardware) dédié pour faire tourner leurs serveurs. C'est le cas d'Amazon qui a dévoilé en 2019 son nouveau processeur équipé de puces développées par la société elle-même.¹⁵ Ou encore du fournisseur Chinois Alibaba qui a lui aussi développé ses propres puces.¹⁶ Cela permet de gagner en rapidité de calcul ce qui est bénéfique pour l'ensemble des clients et tire le marché très concurrentiel du cloud vers le haut.

Cette constatation se fait également sur les objets connectés eux-mêmes. Avec des puces de plus en plus fines et performantes, les appareils gagnent en réactivité pour transmettre leurs données. Cette meilleure fiabilité permet donc de tirer pleinement partie de l'IoT. Et c'est encore plus le cas pour la partie Edge Computing puisque des performances plus grandes du côté des objets connectés augmentent les performances globales des systèmes.

C. Et des réseaux permettant une connexion toujours plus fiable et rapide

Enfin, les technologies de communication entre les appareils connectés et le réseau progressent également. Les objets connectés utilisent en grande partie des réseaux basse fréquence pour communiquer leurs données. C'est le cas du protocole LPWAN qui a été développé spécifiquement pour l'IoT. Le but est de minimiser la consommation énergétique tout en maximisant la portée des objets. L'adaptation au volume de données ou à la bande passante est également un point fort de ces réseaux.

On peut également parler de la 5G, une technologie bien connue qui est de plus en plus déployée. Son principal atout est son haut-débit. C'est donc un réseau très utile dans certains cas, notamment ceux où les objets connectés génèrent de grande quantité de données ou des données volumineuses. Mais sa consommation et son coût en font une technologie réservée à certains usages. Par exemple des vidéos provenant de caméra de sécurité.

Il existe différents types de réseaux, qui sont adaptés à certains cas d'usages plutôt que d'autres. D'autres innovations devraient également arriver très rapidement sur le marché de l'IoT. On peut citer le cas de la connexion par satellite, qui permettrait d'offrir une connexion à internet dans des zones

¹⁵ <https://www.guideinformatique.com/actualites-informatiques/amazon-veut-developper-sa-propre-puce-pour-aws-1792.html>

¹⁶ <https://www.usinenouvelle.com/article/alibaba-devoile-une-puce-destinee-a-ses-serveurs-de-cloud-.N1151152>

habituellement mal desservies, ce qui garantirait une meilleure fiabilité des appareils connectés. Des objets sans batterie sont également testés, pour à terme gagner en résilience.

En bref, les innovations liées à l'IIoT concernent tous ses aspects. Cela devrait permettre de démocratiser encore plus ces technologies qui gagneraient en rapidité, en performance et en fiabilité, tout en devenant moins énergivores.

II. DES BÉNÉFICES QUI SE CONCRETISENT POUR L'INDUSTRIE

L'IIoT pour les entreprises industrielles a longtemps été perçu comme étant une technologie du futur, dont les bénéfices étaient abstraits. Désormais, l'IIoT a fait ses preuves dans bon nombre d'entreprises industrielles, ce n'est plus seulement une technologie d'avenir, mais également du présent. Nous verrons des exemples de projets IIoT qui ont été mis en place dans des entreprises du secteur dans le chapitre suivant. Mais dans un premier temps, nous allons voir quels sont les principaux bénéfices de l'IIoT que peuvent tirer les entreprises industrielles.

L'IIoT fait partie d'une chaîne de valeur qui combine d'autres technologies. Les données que les appareils connectés collectent puis transmettent au réseau en sont en quelque sorte les matières premières. C'est ensuite le traitement puis l'analyse de ces données qui leur donne toute leur valeur. Le bénéfice principal de l'IIoT pour les entreprises industrielles est d'accroître l'efficacité des chaînes de production. Ce sont donc les données collectées par les machines elles-mêmes qui permettent in fine d'optimiser toute la chaîne logistique.

Le travail des équipes sur les données permet de tirer le meilleur parti des données collectées. D'abord en mettant en place toute l'infrastructure pour récupérer ces données puis en les orchestrant de telle sorte à pouvoir réaliser différents traitements et analyses. **L'analyse des données d'IIoT** permet de déterminer des indicateurs clés, c'est-à-dire les données qui sont les plus pertinentes dans un but d'optimisation de la chaîne de production. Enfin, l'analyse poussée des données par les data scientists (experts dans l'analyse des données et la mise en place de modèles prédictifs) donne une valeur supplémentaire aux données brutes. De plus, on peut aussi rajouter des **outils d'alerte**, qui s'activent en cas de valeur anormale détectée par les capteurs, ce qui permet de réagir plus rapidement.

La **maintenance prédictive** est un des enjeux les plus importants offerts par l'IIoT. Les données sont utilisées dans des modèles d'apprentissage automatique, qui permettent de prédire les risques de panne d'un équipement. Cela permet d'intervenir avant que la panne n'intervienne réellement sur le terrain. Plus les données collectées sont nombreuses et de qualité (notamment grâce à tout le travail de gestion et nettoyage réalisé en amont) plus elles permettent d'affiner les prédictions, et donc de gagner en précision. C'est donc un gain de temps (puisque le temps perdu est réduit) et d'argent très

précieux pour les entreprises industrielles, quand on sait qu'un équipement peut faire perdre des centaines de milliers d'euros par jour de panne.

De même, les données collectées permettent d'arriver à un **meilleur niveau de qualité industrielle**. Le contrôle qualité peut grandement bénéficier de l'IoT en utilisant les données du passé générées par les objets connectés pour déterminer de manière automatisée les pièces défectueuses grâce à l'IA. En combinant des expertises métiers avec les apports des données, on peut également mettre en place des modèles d'intelligence artificielle pour déterminer les paramètres à l'origine des pièces défectueuses. Cela permet donc de gagner un temps précieux par rapport à une simple analyse manuelle.

La **logistique connectée** permet quant à elle d'utiliser les données pour optimiser la chaîne logistique. Là encore en utilisant des modèles de données, on peut déterminer quelles sont les décisions optimales pour la gestion logistique. On peut également accompagner les opérateurs depuis la chaîne de production jusqu'à l'envoi vers le client en utilisant des outils coopératifs. Ces derniers permettent de gagner en efficacité en aidant les opérateurs dans leurs tâches et en garantissant le suivi en temps réel de la chaîne logistique. La planification et donc l'organisation de l'entreprise en sont donc facilitées.

Le secteur de l'industrie a donc un intérêt tout particulier à utiliser l'IoT. En plus des applications classiques de l'analyse de données, elle peut y trouver également des avantages plus spécifiques à son secteur, comme la maintenance prédictive, le contrôle qualité et la logistique connectée. Toutes ces applications de l'IoT utilisent des techniques statistiques et d'intelligence artificielle qui permettent d'optimiser toute la chaîne de production. Cela permet de réaliser des économies de temps et d'argent et de gagner en réactivité face aux potentiels points de blocage de la chaîne logistique.

III. UNE TECHNOLOGIE PORTEUSE DES TRANSFORMATIONS ET EVOLUTIONS DE L'INDUSTRIE

L'IoT est un des points clés de ce qu'on appelle la quatrième révolution industrielle. Autrement appelé Industrie 4.0, ce concept est né en Allemagne et désigne la modernisation des usines à l'aide de la technologie. L'IoT fait partie de ces technologies, parmi lesquelles on peut citer également l'Intelligence Artificielle, la robotique ou le big data. En France, l'Alliance Industrie du Futur a été lancée pour « organiser et coordonner les initiatives, projets et travaux collectifs qui conduisent à transformer l'industrie française grâce aux solutions et technologies alliant le numérique. »¹⁷

¹⁷ <http://www.industrie-dufutur.org/nos-missions-2/>

L'industrie 4.0 connecte donc les objets et appareils du monde réel avec les systèmes virtuels. Ce nouveau paradigme dans l'organisation de la production vise à l'augmentation de la productivité et à une utilisation plus durable des ressources. Les technologies de l'industrie 4.0 offrent des promesses de compétitivité à long terme pour les entreprises industrielles grâce à un usage intelligent des données, ce qui permettra d'optimiser les coûts et de mieux utiliser les ressources disponibles. Grâce à cela, elle va pouvoir également se transformer et se réinventer, pour mieux correspondre aux enjeux contemporains.

En dehors des bénéfices déjà apportés directement par l'IoT, les usines connectées vont ouvrir de nouvelles opportunités pour le secteur industriel. Par exemple grâce à la personnalisation avancée des produits. Les entreprises industrielles vont pouvoir offrir des produits toujours plus personnalisés à leurs clients. En collectant des données plus nombreuses et plus précises, elles pourront offrir des produits qui correspondent mieux aux attentes des clients. De même, grâce à une chaîne logistique plus connectée, le traçage des produits sera plus aisé, ce qui permettra d'une part de complexifier les chaînes de production sans perte de productivité, et d'autre part de généraliser le suivi en temps réel des commandes de clients. Qu'ils soient des particuliers ou des entreprises, cela sera bénéfique pour toutes les parties.

En outre, en adaptant leur business model, certaines entreprises industrielles pourront aller de plus en plus vers la vente de services pour se différencier de la concurrence. En intégrant directement des capteurs dans les produits manufacturés et en les connectant à internet, les produits vendus seront ainsi plus « intelligents ». C'est par exemple le cas de l'entreprise Nexans, vendeur de lignes de transmission par câble. En intégrant des capteurs dans leurs tourets de chantier, ils ont pu offrir des services nouveaux à leurs clients, en indiquant en temps réel leur position et leur longueur de câble restante. Cela a permis de fidéliser leurs clients qui avaient un intérêt plus grand à acheter chez eux que chez leurs concurrents.

En plus de vendre leurs produits, elles pourront aussi vendre des services, basés sur la collecte des données de leurs produits, et qui leur donneront une valeur supplémentaire pour se différencier de la concurrence. Elles pourront ainsi réadapter leurs offres, en proposant des abonnements ou des systèmes de fidélité qui permettront de mieux connaître leurs clients, et donc de mieux s'adapter à leurs envies ou besoins. Ce changement vers un business model de l'abonnement est déjà très présent dans certains secteurs, notamment le numérique (Netflix, Spotify, Amazon, etc...), mais encore assez peu dans les entreprises industrielles. C'est donc une piste de développement intéressante pour le secteur.

Enfin, l'IIoT ouvre des perspectives pour obtenir un meilleur contrôle des usines et des machines de production. Grâce à la connexion des appareils au réseau, et avec l'aide de la technologie, il est maintenant possible de modéliser une usine virtuelle en 3D. Tous les appareils de production y sont visibles et remontent leurs données en temps réel. Grâce à leur jumeau numérique (digital twin), on peut alors contrôler l'état de toute la chaîne de production et interagir avec chacune des machines.

On peut même aller plus loin en utilisant les technologies de réalité virtuelle : un opérateur peut travailler à distance sur la chaîne de production. Cela enlève donc les barrières physiques qu'il y avait encore récemment dans le monde industriel. Les tâches opérationnelles ne sont plus nécessairement réalisées en présentiel, ce qui est bien une révolution ! De même, le pilotage global de l'usine s'en trouve amélioré, puisqu'on a accès en temps réel à toutes les données de l'usine connectée. Le métavers industriel est donc l'une des prochaines étapes permises par le développement de l'IIoT. Les avatars virtuels pourront y remplacer les opérateurs en présentiel, et il sera possible d'organiser des visites virtuelles de l'usine sans se déplacer sur le site de production.

Les économies offertes par les usines virtuelles seront elles cependant bien réelles, malgré leur coût environnemental et financier. Plus besoin de se déplacer sur site, ce qui peut s'avérer bien pratique dans un contexte de pandémie, et permet d'économiser du temps et de l'énergie. De plus, la sécurité des sites de production s'en trouve renforcée, puisque moins de personnes y sont réellement présentes physiquement. L'IIoT est donc une des pierres angulaires de l'industrie 4.0.

Les innovations sont nombreuses et ne se limitent pas seulement aux produits manufacturés. Même les usines pourraient devenir des services dans quelques années. En offrant des possibilités de configuration flexibles, les usines connectées pourraient s'adapter très rapidement pour répondre à des besoins très spécifiques. Ainsi, le MaaS (Manufacturing as a Service) offre l'opportunité à des entreprises tierces de louer une partie de ses appareils de production pendant une période de temps donnée, ce qui leur évite de construire une nouvelle ligne dans leurs usines. Les possibilités de l'industrie 4.0 sont quasiment sans limites !

CHAPITRE 8 – ENTAMER LA TRANSFORMATION NUMERIQUE DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES

La mise en place de projet IoT doit être accompagnée en menant une réflexion globale sur les systèmes d'information de l'entreprise. Les entreprises industrielles doivent être conseillées pour mener à bien ces projets. Il faut également parfois opérer des transformations importantes dans les outils numériques utilisés. L'IoT n'est d'ailleurs pas une fin en soi mais plus un moyen d'aller vers l'usine et la fabrication intelligentes.

I. UN PROJET IOT, DANS QUEL CONTEXTE ?

Nous avons vu que les entreprises industrielles peuvent largement bénéficier des nouvelles technologies, dont fait partie l'IoT. Mais selon la taille ou le domaine de l'entreprise, les besoins et les contraintes diffèrent largement. L'IoT industriel dépend à la fois des appareils connectés, des réseaux et des outils numériques, ce qui implique de connaître précisément le rôle de chacun. Dans cette partie, nous allons donc voir que la mise en place d'un projet IoT peut bénéficier à tous types d'industries, mais en tenant compte de leurs spécificités.

Le lancement d'un projet lié à l'Internet des Objets dans une entreprise dont le numérique est loin d'être la spécialité peut être une tâche ardue. Il est donc important de les accompagner dans ces projets. La première étape est de déterminer le contexte de l'entreprise. Quelles sont les machines existantes et peuvent-elles être connectées au réseau ? En France, les lignes de production sont souvent anciennes et utilisent des appareils ou des technologies anciennes qui ne permettent pas d'atteindre les promesses portées par l'IoT. Il peut donc être nécessaire de remplacer ces machines vieillissantes par d'autres plus modernes qui seront capables de transmettre leurs données en temps réel. Il est donc nécessaire de réaliser un inventaire des machines existantes et de leurs spécificités.

De la même manière, les outils numériques utilisés dans les entreprises industrielles sont souvent vieillissants. Les architectures de données ont pu être construites sur des technologies aujourd'hui obsolètes. Les protocoles de communication (MODBUS, BACnet, ...) sont aussi souvent incompatibles entre eux ou avec les nouvelles technologies. Il y a donc tout un travail d'inventaire et de catégorisation des outils existants qui utilisent ou traitent des données industrielles afin de connaître l'étendue du besoin.

Enfin, il faut également s'intéresser à la connectivité de l'entreprise au réseau internet, qui est primordial pour utiliser les données collectées par l'IoT. De nos jours, la plupart des entreprises industrielles bénéficient d'une connexion haut-débit mais certaines restent dans des « zones blanches », c'est-à-dire où il n'y pas ou presque pas de réseau. Peu à peu, ce constat est en train de

changer, et même les zones les plus éloignées commencent à être reliées à internet. Pour celles qui restent en marge, il existe tout de même d'autres solutions, comme le recours à l'Edge ou le Fog Computing. Cette dernière technologie permet de distribuer les traitements de données sur le réseau local au plus près des appareils connectés.

Ces solutions permettent de traiter les données au plus proche de leur lieu de collecte, ce qui optimise le flux de données générées, et permet donc de lancer des projets d'IoT même dans des zones où la bande passante se fait rare. De plus, avec le déploiement de la 5G en France, la connexion devient même encore plus rapide dans de nombreux endroits, ce qui est un atout pour les projets IoT.

Ceux-ci peuvent être adaptés à tous les types d'entreprises industrielles, avec une grande diversité de problématiques. Là où les plus grands groupes industriels vont pouvoir investir très largement dans de nouveaux équipements pour permettre de lancer ces projets, les PME pourront commencer par remplacer seulement les plus anciens. De même, les plateformes IoT choisies seront différentes selon les moyens de l'entreprise. Les plus petites pourront se tourner vers le cloud des géants du numérique, dont le ticket d'entrée est abordable, alors que les plus grandes pourront se permettre de développer des solutions internes correspondant exactement à leurs besoins, sur le cloud ou non.

De la PME aux grands groupes, les enjeux sont différents mais les bénéfices sont les mêmes : pouvoir optimiser le processus productif. Les solutions retenues seront bien sûr différentes selon le contexte de l'entreprise, mais elles peuvent toutes permettre de répondre aux besoins de l'industrie. L'IoT étant particulièrement adapté pour ce secteur, puisqu'apportant des données très concrètes, élément nécessaire pour répondre aux besoins précis des industriels : respect d'un cahier des charges strict, des normes légales et pragmatisme.

II. UNE TRANSFORMATION GLOBALE VERS UNE CENTRALISATION DES PROCESSUS DE GESTION DE DONNEES

Les infrastructures de données dans les entreprises industrielles sont souvent inadaptées pour mettre en place des projets d'IoT. Les outils de traitement de données sont parfois multiples et les données très hétérogènes. Cela peut donc engendrer des erreurs et des pertes de temps et d'argent pour les entreprises. Par conséquent, il peut être nécessaire d'opérer une transformation globale pour aller vers un référentiel de données unique ; ce qui permettra de tirer pleinement partie des avantages des appareils connectés.

Un des facteurs clés de la réussite d'un projet IoT est la capacité à traiter les données et à pouvoir en tirer de la valeur. Cela nécessite d'avoir les outils et surtout les infrastructures adaptés pour des projets à grande échelle. Avant de se lancer dans l'IoT, il est conseillé d'avoir une architecture de données fiable et évolutive. La mise en place d'une Modern Data Platform est donc quasiment

obligatoire pour poser des bases saines nécessaires à un projet IoT. Ce concept récent est une solution globale évolutive et résiliente pour les données.¹⁸

La Modern Data Platform est une solution qui permet de gérer les données de bout en bout, depuis leur collecte jusqu'à leur exploitation, en passant par le stockage, le traitement, l'analyse et toutes les autres étapes de leur chaîne de valeur. Cette plateforme n'est pas dédiée à un seul cas d'usage. L'objectif est d'en mutualiser les ressources pour plusieurs utilisations afin d'en rationaliser les ressources, les coûts, la complexité et la maintenance. Les outils d'analytique et d'IA pourront ensuite se baser sur ces données pour tous les cas d'usages, avec une fiabilité accrue et une utilisation optimisée des ressources.

L'utilisation du cloud garantit aussi une grande disponibilité et une évolutivité nécessaires pour un bon usage des données. Il peut donc être nécessaire de migrer l'intégralité des ressources liées aux données dans le cloud. C'est donc un très gros travail dont la réussite dépend aussi du niveau d'accompagnement des entreprises. Mais une fois terminée, cette migration offre tous les avantages du cloud en termes de disponibilité et de flexibilité.

C'est donc en quelque sorte les fondations d'un projet IoT, puisque sans cette structure, la complexité des flux de données générée par l'IoT est un gros facteur de risque pour les entreprises. La forme prise par la Modern Data Platform dépend aussi des infrastructures actuelles de l'entreprise. Dans certains cas, le passage sur le cloud ne sera pas forcément pertinent, mais il sera tout de même nécessaire d'opérer un travail d'uniformisation et de catégorisation des flux de données. Pour d'autres entreprises, il restera possible d'utiliser des outils externes qui pourront se greffer sur la plateforme de données.

Un projet IoT s'inscrit donc dans le cadre de la Modern Data Platform puisque les données collectées par les appareils seront ensuite envoyées sur cette plateforme où elles pourront être analysées dans un ensemble global. L'IoT n'est donc pas la suite de la Modern Data Platform, mais c'est plutôt l'inverse, puisque cette technologie complète les autres sources de données plus traditionnelles. Toute la partie analyse et valorisation des données de l'IoT sera donc intégrée directement dans la plateforme, en garantissant une grande disponibilité et une grande transparence. La connaissance des données s'en trouvera donc facilitée.

III. ACCOMPAGNER LES SALARIES VERS UN NOUVEAU ROLE

La transformation numérique des entreprises va entraîner des changements organisationnels dans les entreprises industrielles. Outre les externalités négatives entraînées par les évolutions structurelles des entreprises que nous avons évoquées dans la partie précédente, les opportunités sont nombreuses

¹⁸ <https://www.viseo.com/en/emea/news/welcome-era-modern-data-platform>

pour les salariés. D'après une étude de 2016 du cabinet Roland Berger, la moitié des emplois de l'industrie a une très forte probabilité d'être automatisé d'ici 20 ans. Malgré cela, toujours selon ce cabinet, les emplois industriels devraient augmenter de 6% entre 2015 et 2035. Cela va nécessiter d'accompagner les employés vers des nouveaux rôles pour les inclure dans cette transformation, et pour qu'eux aussi puissent en tirer parti.

L'automatisation complète ou partielle des machines et les optimisations des chaînes de production vont diminuer la charge totale de travail pour des tâches manuelles. Y compris pour des métiers de techniciens qualifiés, que l'Intelligence Artificielle va de plus en plus concurrencer. Par exemple, des opérations nécessitant des prises de décision vont pouvoir être réalisées automatiquement et de manière plus fiable et objective grâce à l'IA que par des salariés qualifiés. Néanmoins, dans certains cas, l'expertise humaine prévaudra toujours. Certains métiers d'opérateurs ont donc encore de l'avenir dans le monde industriel, notamment pour des raisons de responsabilité et de sécurité.

Pour les autres, une évolution des métiers semble inéluctable. L'IA va pouvoir aider les opérateurs dans leur travail, en optimisant les flux et l'organisation des tâches productives. De plus, cela va limiter le risque d'erreur. Les tâches de support et de maintenance vont prendre plus d'importance à la place des tâches répétitives et à faible valeur ajoutée pourtant nécessaires à la production qui pourront être automatisées, support pour compléter certaines tâches réalisées automatiquement ; et maintenance pour configurer les appareils connectés et les réparer en cas de problème détecté. La détection des pannes pouvant de plus en plus être faite de manière prédictive, les équipes de maintenance pourront intervenir avant que celles-ci n'apparaissent.

Par ailleurs, les robots industriels devraient être plus nombreux dans l'usine connectée et intégrer de nombreux capteurs pour les rendre plus flexibles. La cobotique, des robots destinés à interagir avec les humains, permettra de simplifier les tâches pénibles dans les usines. Par exemple en soutenant les opérateurs pour porter des charges lourdes.¹⁹

Pour cela, il sera nécessaire d'accompagner l'ensemble des salariés dans ces changements. La formation aux nouveaux paradigmes sera primordiale pour que les enjeux en soient bien compris et assurer la montée en compétence technique des opérateurs. Il sera important de bien faire comprendre les enjeux et les implications de l'IoT et des technologies liées. De même, les nouveaux outils devront être bien appréhendés afin de limiter le risque d'erreur et d'augmenter les chances de réussite de ces transformations.

¹⁹ <https://www.inria.fr/fr/industrie-robot-exosquelette-machine-learning>

L'inclusion de toutes les parties prenantes dans ces transformations est primordiale. Pour les managers, les missions vont évoluer. D'un rôle de coordinateur, les managers vont devoir évoluer vers un rôle de coaching de proximité pour les opérateurs.²⁰ Ainsi, les compétences managériales les plus valorisées concerneront l'accompagnement des opérateurs vers plus d'autonomie, la définition d'un cadre de travail efficient et la transmission d'une vision au sein de l'entreprise.

L'IoT offre également des opportunités pour améliorer les conditions de travail des salariés. D'une part en optimisant les tâches productives, il sera possible de gagner en productivité, donc de travailler moins pour obtenir une production équivalente. Cela signifie que le temps de travail pourrait diminuer tout en offrant des salaires équivalents aux employés. Un temps de travail moins important voudrait dire plus de temps libre pour des projets personnels, ce qui serait un avantage, alors qu'une part grandissante des salariés cherche à trouver un meilleur équilibre entre la vie professionnelle et personnelle.²¹

De même, l'introduction de nouveaux capteurs dans les usines pourrait permettre de mieux prendre en compte la santé des collaborateurs au travail. En collectant des données liées à leur travail, on pourrait favoriser des meilleures conditions de travail et éviter les risques de burn-out. La collecte de données anonymisées sur l'activité des salariés au travail pourrait déjà permettre de diminuer les risques psycho-sociaux au travail (par exemple avec des podomètres ou des moniteurs de fréquence cardiaque permettant de détecter des signes de fatigue extrême). De même pour les troubles musculo-squelettiques.

Enfin, on peut dire que l'IoT dans les entreprises va nécessairement amener à des pertes d'emploi. Mais pour autant, cela ne signifie pas que moins de monde y travaillera. De nouveaux métiers vont apparaître, et d'autres vont simplement évoluer. Les besoins dans les métiers de la data, du développement informatique ou de la cybersécurité vont augmenter significativement. Les compétences hybrides vont aussi être très recherchées : c'est-à-dire des compétences à la fois opérationnelles mais aussi sur les nouvelles technologies de l'information.

Les changements technologiques vont aussi demander un accompagnement des entreprises, ce qui va augmenter les opportunités des entreprises de conseil et de services numériques. Les bouleversements amenés par l'IoT dans le monde industriel vont nécessiter de repenser la manière de travailler.

²⁰ <https://www.digital.sncf.com/actualites/place-coach-repenser-le-role-managerial-lheure-digitale>

²¹ <https://www.capital.fr/votre-carriere/conditions-de-travail-les-francais-aspirent-a-un-meilleur-equilibre-entre-vie-pro-et-vie-perso-1407555>

CHAPITRE 9 – TIRER PARTI DES RETOURS D'EXPERIENCE SUR CE TYPE DE PROJETS

Nous avons vu précédemment que le développement de l'IoT et de manière générale la transformation (numérique) des entreprises industrielles était encore loin d'être la norme à cause de nombreux facteurs. Néanmoins, les entreprises qui se sont déjà lancés, avec succès, dans l'IoT sont de plus en plus nombreuses. Dans ce chapitre, nous allons mettre en avant des exemples concrets d'entreprises qui ont initié leur transformation numérique à l'aide des nouvelles technologies de l'industrie 4.0.

I. CAS DE L'ENTREPRISE BOSCH : UN DES CHEFS DE FILE DE L'USINE CONNECTEE EN FRANCE

Le terme d'industrie 4.0 est apparu en Allemagne au début des années 2010. Le pays a été l'un des précurseurs sur ce sujet en l'intégrant dans sa stratégie de développement de ses industries. En France, le concept a eu plus de mal à s'implanter. Malgré tout, quelques grands groupes industriels y ont initié leur transformation digitale. C'est le cas de Bosch, qui a très largement poussé l'usine connectée en France. Avec l'aide de ses partenaires, elle s'est très vite imposée comme l'un des acteurs clés du marché de l'IoT industriel. Certaines usines du groupe ont même obtenu des titres ou des certifications qui témoignent de la réussite de leur projet. C'est le cas du site de Rodez, labellisé « Vitrine de l'Industrie du Futur » par l'AIF (Alliance Industrie du Futur), ou encore de Mondeville, élue « Usine de l'Année » en 2017, par l'Usine Nouvelle, un magazine français spécialisé dans l'industrie.

Le projet de Bosch était même plus large que la simple transformation digitale du groupe. Leur objectif était de relancer l'investissement dans l'industrie et faire de la France un pays en pointe sur le sujet. Ils ont ainsi développé un réseau d'entreprises qui s'entraident sur le sujet et œuvrent en faveur de l'émergence d'une expertise et d'une culture de l'entreprise intelligente en France. Cette culture s'est de plus en plus développée dans le secteur industriel français, à mesure que les technologies progressaient dans le domaine. Le gouvernement Français a même lancé le label « French Fab » pour fédérer les industriels.

L'objectif de cette communauté était de créer un écosystème pour progresser collectivement sur le sujet en permettant également aux PME et ETI de se lancer dans leur transformation numérique. Ces changements concernent toutes les facettes de l'industrie : Business Model, stratégie, organisation, management, innovation, etc...

Bosch a identifié les points clés de sa transformation digitale. Tout d'abord, des usines flexibles et adaptables en temps réel. Pour cela, il est nécessaire d'avoir des machines pouvant communiquer entre elles, des réseaux de calcul distribués et des technologies garantissant une simplicité

d'installation et de reconfiguration. L'objectif est de pouvoir se différencier face à la concurrence et de gagner en transparence dans les processus grâce à l'utilisation des données.

Dans un second temps, la technologie permet d'accompagner l'humain dans sa prise de décision. Par l'utilisation de cobots (des robots dédiés au support de l'humain) et d'AGV (« Automated Guided Vehicle », ou véhicule à guidage automatique en français), les usines connectées apportent un meilleur soutien aux opérateurs des lignes de production. Ils peuvent donc se concentrer sur des tâches qui apportent une réelle valeur ajoutée à l'entreprise. In fine, cela permet aussi d'avoir moins d'erreurs, une sécurité renforcée et une plus grande sérénité des opérateurs, donc un bien-être supérieur au travail.

Enfin, ces transformations peuvent se faire seulement si la direction est convaincue par les projets, qu'un cap clair est défini et permet d'accompagner le changement de culture global dans l'entreprise, et ce à tous les niveaux (direction, management, RH et employés). L'implication des équipes dans la transformation est donc primordiale.

Le groupe Bosch a commencé par des petits projets pilotes au sein de ses usines. La seule contrainte étant d'avoir un retour sur investissement estimé entre 6 et 24 mois. Ainsi, plus de 2700 projets ont été concrétisés dans leurs usines depuis 2013. Parmi ceux-là, près de 400 ont été ensuite standardisés sur l'ensemble des 270 sites de production du groupe en France. Cette manière de fonctionner a permis de tenir compte de la diversité des usines et de leurs problématiques, ce qui a favorisé une expertise plus large au sein du groupe. Cet exemple de transformation peut donc être considéré comme un modèle à suivre pour d'autres entreprises.

II. L'UTILISATION CONCRETE DES PLATEFORMES CLOUD PUBLIQUES

Dans cette partie, nous allons montrer des cas concrets d'utilisation de plateformes Cloud liées à des projets d'IoT en milieu industriel. A travers deux exemples sur deux plateformes différentes, nous allons montrer comment les entreprises arrivent à tirer de la valeur grâce au cloud.

A. *Le partenariat entre le groupe Volkswagen et AWS*

Le premier exemple est celui du groupe automobile Volkswagen, qui en plus de sa marque éponyme, possède également d'autres fleurons de l'industrie automobile. A titre d'exemple, on peut citer les marques Audi, Skoda, Lamborghini, Porsche, ou encore Scania pour les poids lourds, mais ce ne sont pas les seules.

Le groupe a noué un partenariat avec Amazon Web Services en 2019 pour développer son cloud industriel sur sa plateforme cloud. Ce partenariat est né de la volonté de tirer parti de l'expertise des deux géants dans leurs domaines respectifs. L'objectif principal pour Volkswagen est d'améliorer ses

process de production et de logistique. Le gain de productivité ainsi espéré est de l'ordre de 30% entre 2019 et 2025, ce qui n'est pas négligeable dans un milieu où la productivité n'augmente en général que de quelques petits points. Quant à AWS, ce partenariat est stratégique car il lui permet de montrer ses atouts y compris pour des projets de grande ampleur et de bénéficier des retours de l'entreprise Allemande.

Un des principaux atouts de ce passage sur le cloud est de pouvoir traiter en temps réel les données provenant de 122 usines de production, afin de contrôler l'efficacité globale des équipements d'assemblage. Les transformations ont permis également d'entamer la standardisation des procédures et de simplifier la connexion des différents systèmes et usines. Grâce au développement d'un data Lake sur la plateforme, l'accès et le traitement des données est également facilité.²²

Pour cela, le groupe utilise de nombreux services fournis par le cloud d'AWS. Les principaux sont ceux liés à la connexion et la gestion des appareils connectés, l'apprentissage automatique, l'analytique, le calcul sans serveur et le stockage des données. En plus de cela, ils utilisent également d'autres services de manière plus disparate, comme ceux de réalité virtuelle.

A long-terme, le groupe espère pouvoir intégrer aussi les données de ses partenaires sur la plateforme pour encore gagner en efficacité. Le défi s'annonce de taille puisque le groupe travaille avec plus de 1500 partenaires répartis sur plus de 30 000 sites. Cela permettrait un meilleur traçage des biens à toutes les étapes de la chaîne logistique, y compris hors du périmètre de l'entreprise.

B. Les atouts du cloud Azure pour l'entreprise Bentley Systems

Un autre exemple d'utilisation d'une plateforme cloud pour l'IoT est celui de Bentley Systems. Cette entreprise produit des solutions pour le design, la construction, la gestion et l'entretien d'infrastructures telles que le réseau routier et ferroviaire, les travaux publics et les industries.

Pour eux, l'objectif de l'utilisation du cloud Azure est de donner à leurs clients un meilleur contrôle de leurs équipements grâce à des jumeaux numériques (digital twin). Cela permet donc un meilleur contrôle sur les ressources utilisées en simulant virtuellement le comportement des appareils dans le monde réel. Les clients peuvent donc tester de nombreuses configurations de leurs machines ce qui permet d'optimiser la chaîne de production sans crainte de réaliser de mauvaises manipulations. C'est un des avantages permis par l'utilisation de l'IoT. De plus, grâce au cloud, la flexibilité de leurs clients est améliorée car ils peuvent facilement adapter la taille des ressources utilisées.

²² <https://www.volkswagenag.com/en/news/2019/03/volkswagen-and-amazon-web-services-to-develop-industrial-cloud.html>

Un de leurs principaux défis est de pouvoir traiter efficacement des grosses quantités de données en temps réel provenant de centaines de sources différentes. Pour cela, un autre atout des plateformes cloud est de proposer une intégration facilitée de nombreux services : par exemple, en utilisant PowerBI, Bentley Systems peut analyser facilement ses données et en découvrir les indicateurs clés. Enfin, ils peuvent aussi utiliser des services d'apprentissage automatique pour améliorer la qualité de leur production.²³

Ces entreprises tirent donc un bénéfice de leur utilisation du cloud pour leurs projets d'IoT, en n'ayant pas besoin de développer des outils spécifiques.

III. LA TRANSFORMATION DIGITALE DE MICHELIN

Nous avons montré que les projets d'IoT font partie intégrante de la transformation digitale des entreprises industrielles. Ces changements entrent eux-mêmes dans le cadre d'une transformation plus globale des industries, dans un monde très concurrentiel. Nous allons montrer en quoi l'entreprise Michelin a pu réinventer ses offres grâce au numérique, en se reposant en partie sur des technologies d'Internet des Objets.

L'entreprise Michelin, fabricant auvergnat de pneumatiques, a initié très tôt la diversification de ses offres. Quelques années après sa création, elle a commencé à proposer des services liés à ses produits : des fiches de recommandation d'itinéraires. Ensuite, dès le développement du numérique, elle a su adapter ses services aux technologies d'alors. D'abord avec le premier service d'itinéraires sur Minitel (1989) puis sur le site internet ViaMichelin.fr, publié en 2001.

En 2011, elle a su prendre le virage des smartphones en proposant une application de calcul d'itinéraires et comprenant aussi des services annexes. L'entreprise bénéficie donc d'une culture importante en matière d'adaptation de son offre. Mais depuis plusieurs années, l'entreprise a aussi entamé sa transformation digitale. Les changements concernent 5 domaines principaux qu'elle a identifié :

- Le commercial avec une relation client adaptée aux outils numériques
- Les RH, en donnant aux employés des outils numériques adaptés
- La production et le digital Manufacturing, c'est-à-dire l'utilisation du numérique pour accompagner la production (notamment grâce à l'IoT)
- Les objets connectés (pneus)
- Analyse et traitement des données internes et externes

²³ <https://customers.microsoft.com/fr-fr/story/806028-bentley-systems-partner-professional-services-azure>

De plus, elle a identifié également des points clés de sa transformation digitale. Le premier est la transformation de sa proposition de valeur, c'est-à-dire ce qu'elle peut offrir à ses clients. En plus des services de cartographie, depuis longtemps proposés par Michelin, elle a souhaité adapter son offre de produits, en y ajoutant des services annexes. Notamment en équipant certaines gammes de ses pneus avec des capteurs embarqués permettant de communiquer des données en temps réel sur le cloud. L'objectif est de pouvoir analyser leurs performances et de proposer aux conducteurs des solutions qui facilitent la mobilité et réduisent la consommation. Ainsi, les pneus ont une durée de vie supérieure car ils sont changés seulement quand les capteurs en indiquent la nécessité, et toujours gonflés à la pression recommandée.

Les domaines d'application sont larges : à la fois dans le domaine du génie civil pour améliorer la sécurité des véhicules ou dans la logistique pour gagner en efficacité et en sécurité. L'entreprise a développé plusieurs offres pour accompagner ses clients, notamment les entreprises de transport routier. Ces innovations s'appliquent également à d'autres domaines comme la compétition automobile. Enfin, elle a effectué plusieurs rachats d'entreprises de ventes de pneus sur internet pour avoir un meilleur contrôle du marché du pneu.

Un des autres points clés concerne la transformation managériale. L'entreprise a mis l'accent sur la transformation culturelle qui doit y avoir lieu, en impliquant toutes ses parties prenantes. Par exemple en faisant monter en compétence ses employés grâce au e-learning (Formation en ligne). Enfin, ils ont opéré une digitalisation de tous leurs processus internes pour gagner en efficacité et répondre pragmatiquement aux défis actuels. Michelin est donc une entreprise qui a réussi sa transformation numérique, notamment grâce à une forte culture de l'adaptation aux besoins de ses clients, et en ayant su prendre très tôt le virage du numérique.

CHAPITRE 10 – PROPOSITION D’ACTIONS VISANT A ENCOURAGER LE DEVELOPPEMENT D’UN PROJET IOT

Nous proposerons dans cette partie des actions concrètes pour aider les entreprises à lancer des projets IoT ? De plus, nous ferons le bilan de ces solutions.

I. ACCOMPAGNER LES INDUSTRIELS DANS UNE DEMARCHE GLOBALE

Les ESN (entreprises de services du numérique) ont un rôle primordial à jouer auprès des industriels pour les aiguiller sur leurs projets numériques. Le but n’est pas seulement de conseiller, mais de mettre en place une chaîne d’accompagnement global dans la transformation digitale des entreprises industrielles. L’expérience acquise sur ce type de projets est un atout considérable pour réussir la mise en place de l’IoT. Les ESN jouent donc un rôle particulier, puisqu’elles ont pu développer un savoir-faire depuis les balbutiements de l’IoT.

Nous avons vu que les freins des industriels à se lancer sur des projets d’IoT étaient majoritairement dus à leur manque d’une vision claire de ses bénéfices et implications. Souvent, ils ne savent pas par quelles transformations commencer ni comment mettre en œuvre cette transformation. L’objectif des entreprises de conseil et de services numériques est donc d’identifier les industriels intéressés par le développement d’un tel projet mais qui se sentent perdus face à un tel défi.

Un important travail de pédagogie est à réaliser pour bien faire comprendre tous les enjeux de l’IoT. Cela commence par l’établissement d’une feuille de route à suivre, en gardant en tête un objectif clair de transformation globale de l’entreprise à long-terme. Le rôle de l’ESN pourra être d’accompagner les industriels tout au long de la démarche. Il faut identifier les différentes étapes de ce processus pour connaître le périmètre des transformations à effectuer. Cette identification se fait en collaboration étroite avec le client pour répondre au mieux à ses besoins.

Le travail commence donc par le conseil du client et le recueil de son besoin, en lien direct avec les retours du terrain. Dans certains cas, seules certaines étapes seront effectivement réalisées par l’entreprise de services. Celle-ci travaille la plupart du temps en mode agile pour permettre de répondre au plus près aux attentes des utilisateurs.

Une fois la feuille de route déterminée et les besoins clairement définis, on peut commencer à concevoir l’architecture, en intégrant également les autres outils de l’entreprise. Cette architecture doit permettre de connecter les appareils au réseau, inclure les passerelles pour en récupérer les données puis les traiter et mettre en place les outils d’analyse de données. Un des points les plus importants est de pouvoir engager le client grâce à des interfaces ergonomiques qui faciliteront sa prise en main des nouveaux outils.

Une fois l'architecture mise en place, l'ESN a toujours un rôle à jouer, notamment en pouvant assurer la maintenance applicative ou encore, si besoin, d'aider à la création d'une formation de prise en main de l'outil.

Le rôle de l'ESN est donc global pour accompagner les entreprises industrielles dans leurs projets IoT. Du conseil jusqu'au support, en passant par l'audit, le recueil du besoin, la conception et la réalisation, le travail peut avoir lieu à toutes les étapes du cycle de vie du projet. Cela permet de bénéficier d'une expertise qui peut parfois manquer dans le milieu industriel concernant les outils numériques.

II. IDENTIFIER LES TRANSFORMATIONS PRIORITAIRES

L'étendue des transformations numériques nécessaires au développement de l'IoT dans les entreprises industrielles peut soulever des interrogations sur la pertinence d'un tel projet. Mais selon la taille de l'entreprise concernée, les projets seront de nature différente. Une grande entreprise pourra d'abord lancer des projets pilotes dans certaines usines avant un déploiement à grande échelle, comme dans le cas de Bosch.

A l'inverse, une entreprise plus petite pourra se contenter d'un Proof of Value (preuve de valeur), c'est-à-dire un exemple fonctionnel de la solution finale, sur un périmètre fonctionnel restreint. Cela permet de vérifier que les objectifs du projet sont bien atteignables en condition réelle. Par ailleurs, l'un des avantages offerts par les nouvelles technologies numériques concernent les outils de simulation. Que ça soit grâce à des jumeaux numériques ou à l'utilisation de modèles d'intelligence artificielle, il est possible de simuler des chaînes de production virtuelles. Cela permet d'avoir un aperçu plus concret de ce que va donner le projet une fois déployé, et de tester différentes configurations des appareils connectés. L'ouverture d'une ligne de production virtuelle avant la physique est un avantage bien réel pour les industries.

On peut également voir la transformation digitale comme un ensemble de plus petits projets, indépendants les uns des autres mais qui vont apporter toute leur valeur au fur et à mesure des déploiements. Chaque projet aura donc ses avantages propres, et leur intérêt continuera d'augmenter en lançant de nouveaux projets. Cela peut permettre de commencer par des projets de plus petite taille, pour minimiser l'impact pour l'entreprise en cas d'échec. Le risque reste tout de même de ne pas se lancer pleinement, ce qui pourrait compromettre la réussite globale du projet de transformation.

A court terme, l'enjeu est donc avant tout d'identifier les besoins prioritaires. Quels sont les projets pouvant apporter de la valeur à l'entreprise les plus faciles à mettre en œuvre ? Cette question est centrale puisqu'elle permet de cibler les premiers projets qui pourront être lancés et servir aussi de

preuve de valeur. Il ne faut pas oublier que même si la transformation numérique globale est un processus de long-terme, il faut bien commencer quelque part.

Les projets en lien avec l'IIoT peuvent permettre aux industries de gagner de la valeur supplémentaire, en optimisant une partie de la chaîne de production. Par exemple en analysant les données issues des machines utilisées et en trouvant de nouveaux axes d'amélioration de la production. Mais ils peuvent également permettre de réduire les points faibles ou de gommer les retards de l'entreprise sur certains sujets. C'est notamment le cas de la maintenance prédictive, qui peut être particulièrement intéressante pour des entreprises dont les machines tombent régulièrement en panne.

Les solutions doivent être avant tout orientées vers les utilisateurs. De cette façon, les avantages peuvent donc rapidement devenir concrets et inciter l'entreprise à entreprendre de nouveaux projets. La communication de toutes les parties prenantes est donc essentielle. De plus, cela permettra aussi d'acquérir de l'expérience pour les projets suivants, et parfois changer de cap, grâce à un recul supplémentaire.

III. APPORTS ET LIMITES DU MEMOIRE

Dans cette partie, nous allons tenter de porter un regard critique sur les solutions apportées dans ce mémoire. Cela concerne d'une part les entreprises industrielles qui auraient besoin d'un recul supplémentaire sur l'IIoT. D'autre part, les entreprises de services du numérique pourraient y trouver un regard neuf sur les manières d'accompagner leurs clients vers leurs projets d'usines connectées.

Pour les entreprises industrielles qui hésiteraient à se lancer, ce mémoire apporte des pistes de réflexion en traitant le sujet dans sa globalité. Nous avons montré que les projets IIoT s'inscrivent en réalité dans une transformation plus large de l'industrie. Ils impliquent d'avoir une infrastructure informatique adaptée, ce qui peut demander des investissements supplémentaires. Quoi qu'il en soit, le travail nécessaire sera important pour concevoir une architecture résiliente. Mais les avantages apportés par l'IIoT que nous avons identifiés peuvent améliorer significativement l'efficacité de l'entreprise.

Malgré tous les éléments exposés dans ce mémoire, la question reste toujours en suspens : faut-il se lancer dans des projets IIoT ? Et la réponse reste loin d'être une évidence. En fait, cela dépend de nombreux facteurs que l'entreprise devra identifier selon ses spécificités. Parmi ceux-là, on peut citer : la taille de l'entreprise, le secteur d'activité, la maturité et la culture numérique ou encore le business model de l'entreprise. De plus, les projets IIoT doivent s'inclure dans une tendance de long-terme, et doivent donc être alignés avec le plan directeur de l'entreprise.

Par ailleurs, les causes d'échec de ces projets peuvent malgré tout être nombreuses. C'est pourquoi il est nécessaire de développer un certain recul sur le sujet de l'IIoT. En cela, créer des partenariats avec des entreprises de services du numérique est un atout qui permettra de bénéficier d'une expertise sur le sujet. Nous avons donc également détaillé en quoi l'accompagnement des ESN est primordial dans bon nombre de cas.

Pour ces dernières, nous avons montré qu'il était nécessaire de détecter les entreprises hésitantes sur le sujet de l'IIoT pour leur proposer un accompagnement et leur en faire comprendre tous ses enjeux. Enfin, l'identification des transformations prioritaires est une tâche clé pour les ESN, puisqu'en ciblant les cas d'usages avec le meilleur potentiel, elles pourront apporter une véritable valeur ajoutée pour leurs clients.

En revanche, ce mémoire aborde assez peu les causes d'échec de précédents projets d'IIoT. Il aurait été intéressant de développer une analyse des échecs pour en trouver les causes et éviter de tomber dans les mêmes travers. Cela est dû à une faible représentation des cas d'échec dans la littérature et les articles de presse. L'échec pouvant être perçu comme négatif, les entreprises s'attardent assez peu sur le sujet et communiquent encore moins dessus. Par ailleurs, la transformation globale des entreprises industrielles étant un sujet stratégique, les ressources traitant du sujet sont parfois assez vagues. Ainsi, il peut être difficile de trouver des exemples concrets et chiffrés de projets récents.

Enfin, d'un point de vue personnel, ce mémoire m'a permis d'obtenir une vue d'ensemble du sujet de l'IIoT dans le monde industriel. Les nombreuses recherches m'ont permis d'avoir un certain recul sur le sujet. De plus, en ayant travaillé tout au long de mon stage sur une architecture d'IIoT basée sur une modern data platform, j'ai pu en découvrir différents aspects. Cela m'a permis d'apporter une expérience concrète à ce mémoire.

CONCLUSION

Dans les pays industrialisés, les entreprises industrielles ont globalement connu un déclin depuis la fin du XXème siècle. Le secteur est stratégique pour les pays puisqu'en plus des revenus provenant de leurs exportations, l'industrie peut être considérée comme une grande vitrine du savoir-faire du pays. De plus, sur certains marchés en tension, la concurrence est forte, ce qui nécessite d'avoir des plans de développement stratégiques à long-terme.

Dans le même temps, les technologies numériques se sont développées très rapidement et ont gagné toutes les facettes de la société. L'Internet des Objets (IoT), qui désigne les réseaux d'objets connectés, est un ensemble de plusieurs de ces technologies. Son application dans le secteur industriel suscite des grands espoirs pour apporter des gains de productivité et améliorer la consommation des ressources, un sujet qui prend de plus en plus d'importance dans le contexte du réchauffement climatique. Malgré ces avantages, ces technologies peinent à se démocratiser largement dans les entreprises industrielles. Ce mémoire s'est donc intéressé aux freins liés au déploiement de l'IoT dans le contexte industriel et aux solutions pour les limiter. Pour rappel, la problématique était la suivante :

Comment limiter les freins à l'acceptation d'un projet « IoT » dans les entreprises industrielles ?

Dans un premier temps, nous avons donc cadré le sujet en donnant une définition des entreprises industrielles et en rappelant le contexte dans lequel elles évoluent. Nous avons également détaillé quels sont les enjeux autour de l'Internet des Objets, en montrant plusieurs cas d'usages ainsi que des pistes de développement liés à ces technologies. Enfin, nous avons évoqué les solutions informatiques possibles pour gérer les appareils connectés.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux freins auxquels font face les projets d'implantation de l'IoT dans les entreprises du secteur industriel. Nous avons identifié plusieurs types de freins : les freins liés au manque de recul des industriels sur le sujet, ceux liés à la technologie en elle-même, et enfin les freins humains face à la nouveauté.

Dans la dernière partie, nous avons identifié des pistes pour aider au développement de projets IoT dans l'industrie. Pour cela, nous avons montré quels pouvaient être les avantages concrets d'utiliser des appareils connectés pour la production des entreprises. Nous avons également montré que les projets d'IoT s'inscrivaient aussi dans une démarche globale de transformation de l'industrie.

Les solutions apportées contiennent à la fois des pistes pour les entreprises industrielles qui hésitent à se lancer sur des projets IoT, mais également pour les ESN, sur la manière d'accompagner ces mêmes industries dans leurs projets. Pour illustrer les bénéfices de l'IoT et de la transformation numérique des entreprises, nous avons évoqué des exemples concrets d'organisations ayant mené ces

transformations avec succès. Enfin, nous avons fait un bilan des solutions apportées en menant une auto critique de celles-ci et des limites du mémoire. Néanmoins, comme nous l'avons évoqué, il est difficile de trouver des exemples d'échec liés à ces projets, même si ceux-ci existent, à cause de la mauvaise image que cela peut renvoyer. Nous avons tout de même inclus des éléments provenant de témoignages issus du terrain.

BIBLIOGRAPHIE

Articles de revues

- Jean GADREY, 2003 : « Socio-économie des services ». Chapitre « La tertiarisation des activités », pages 5 à 21
- Virginie BILET, Miguel LIOTTIER, 2019/3. « Institutionnalisation des technologies de l'information et mythes : le cas du Big Data ». *Gestion 2000*. Volume 36, pages 15 à 37. DOI [10.3917/g2000.363.0015](https://doi.org/10.3917/g2000.363.0015)
- Cécile CÉZANNE, Edward LORENZ, Laurence SAGLIETTO, 2020/1. « Exploring the economic and social impacts of Industry 4.0 ». *Revue d'économie industrielle*. Volume 169, pages 11 à 35. DOI [10.4000/rei.8643](https://doi.org/10.4000/rei.8643)
- Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON, Michel DUBOIS, 2009/4. « L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? ». *Le travail humain*. Volume 72, pages 355 à 382. DOI [10.3917/th.724.0355](https://doi.org/10.3917/th.724.0355)
- Christophe DE MAISTRE, 2016/4. « L'usine cyberphysique : usine connectée, simulée et reconfigurable ». *Annales des Mines – Réalités industrielles*. Pages 37 à 42. DOI [10.3917/rindu1.164.0037](https://doi.org/10.3917/rindu1.164.0037)
- Éric CHANIOT, 2016/4. « Michelin, acteur de la mobilité digitale ». *Annales des Mines - Réalités industrielles*. Pages 85 à 89. DOI [10.3917/rindu1.164.0085](https://doi.org/10.3917/rindu1.164.0085)
- Fidel A.K. ETTIEN, Nathalie PERON, 2019/3. « Maturité digitale et capacité absorptive : déploiement d'une stratégie de transformation digitale dans une entreprise agroalimentaire ». *Gestion 2000*. Volume 36, pages 113 à 130. DOI [10.3917/g2000.363.0113](https://doi.org/10.3917/g2000.363.0113)
- Max BLANCHET, 2016/5. « Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique ». *Géoéconomie*. Volume 82, pages 37 à 53. DOI [10.3917/geoec.082.0037](https://doi.org/10.3917/geoec.082.0037)
- Emmanuel BACCELLI. « Internet des Objets : Défis sociétaux et domaines de recherche scientifique pour l'Internet des Objets (IoT) ». 2021. (hal-03474906)
- Alexis BITAILLOU, Benoît PARREIN, Guillaume ANDRIEUX. « Synthèse sur les protocoles de communication pour l'Internet des objets de l'industrie 4.0. » [Rapport Technique] LS2N, Université de Nantes. 2019. (hal-02365063)
- Luiz Angelo STEFFENEL, Manuele KIRSCH-PINHEIRO. « Accès aux Données dans le Fog Computing : le cas des dispositifs de proximité ». Conférence d'informatique en Parallélisme, Architecture et Système. (Compas), Jun 2019, Anglet, France. (hal- 02174708)
- Richard P. BAGOZZI, Kyu-Hyun LEE, 1999. "Resistance to Innovations: Psychological and Social Origins"

Sitographie

- Jeff ELDER. Comment Kevin Ashton a nommé l'Internet des Objets ? [En ligne]. Disponible sur : <https://blog.avast.com/fr/kevin-ashton-named-the-internet-of-things> (consulté en juin 2022)
- WIKIPEDIA. Scandale Facebook-Cambridge Analytica [En ligne]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Scandale_Facebook-Cambridge_Analytica (Consulté en aout 2022)
- RTONE. Comparatif des plateformes IoT : Saas, Paas, On Premise ou open-source, que choisir ? [En ligne]. Disponible sur : <https://blog.rtone.fr/comparatif-plateforme-iot> (Consulté en aout 2022)
- NUTANIX. 2022 Cloud Computing Trends – Nutanix Enterprise Cloud Index [En ligne]. Disponible sur : <https://www.nutanix.com/enterprise-cloud-index> (Consulté en juillet 2022)

- MICROSOFT AZURE. Comment choisir un fournisseur de services cloud ? [En ligne]. Disponible sur : <https://azure.microsoft.com/fr-ca/resources/cloud-computing-dictionary/choosing-a-cloud-service-provider/> (Consulté en aout 2022)
- WIKIPEDIA. Edge Computing [En ligne]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Edge_computing (Consulté en juin 2022).
- Fabien PEREIRA VAZ. Les 6 défis de l'informatique industrielle pour les cinq prochaines années [En ligne]. Disponible sur : <https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1498003-les-6-defis-de-l-informatique-industrielle-pour-les-5-prochaines-annees/> (Consulté en aout 2022)
- Frédéric FRÉRY. L'inertie des organisations, obstacle au « monde d'après » [En ligne]. Disponible sur : <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/l-inertie-des-organisations-obstacle-au-monde-d-apres-849483.html> (Consulté en juillet 2022)
- GUIDE INFORMATIQUE. Amazon veut développer sa propre puce pour AWS [En ligne]. Disponible sur : <https://www.guidelinformatique.com/actualites-informatiques/amazon-veut-developper-sa-propre-puce-pour-aws-1792.html> (Consulté en aout 2022)
- L'USINE NOUVELLE. Alibaba dévoile une puce destinée à ses serveurs de cloud [En ligne]. Disponible sur <https://www.usinenouvelle.com/article/alibaba-devoile-une-puce-destinee-a-ses-serveurs-de-cloud-N1151152> (Consulté en aout 2022)
- INDUSTRIE DU FUTUR. ALLIANCE INDUSTRIE DU FUTUR [En ligne]. Disponible sur <http://www.industrie-dufutur.org/nos-missions-2/> (Consulté en aout 2022).
- VISEO. Welcome to the era of the modern data platform [En ligne]. Disponible sur <https://www.viseo.com/en/emea/news/welcome-era-modern-data-platform> (Consulté en juin 2022)
- Philippine RAMOGNINO. Conditions de travail : les Français aspirent à un meilleur équilibre entre vie pro et vie perso – Capital.fr [En ligne]. Disponible sur <https://www.capital.fr/votre-carriere/conditions-de-travail-les-francais-aspirent-a-un-meilleur-equilibre-entre-vie-pro-et-vie-perso-1407555> (Consulté en aout 2022)
- VOLKSWAGEN. Volkswagen and Amazon Web Services to develop Industrial Cloud [En ligne]. Disponible sur : <https://www.volkswagenag.com/en/news/2019/03/volkswagen-and-amazon-web-services-to-develop-industrial-cloud.html> (Consulté en aout 2022).
- MICROSOFT AZURE. Microsoft Customer Story - Bentley Systems helps close the global productivity gap with Azure Digital Twins [En ligne]. Disponible sur : <https://customers.microsoft.com/fr-fr/story/806028-bentley-systems-partner-professional-services-azure> (Consulté en aout 2022)
- Célia GARCIA-MONTERO. Le capteur IoT, un objet connecté à coût variable [En ligne]. Disponible sur : <https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1459459-le-capteur-un-objet-connecte-a-cout-variable/> (Consulté en aout 2022)
- Christian HOHMANN. Usine du Futur – Industrie 4.0 [En ligne]. Disponible sur : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/usine-du-futur> (Consulté en aout 2022)
- Amélie PLAGET. L'Internet des objets (IoT) : Quel avenir dans le monde de l'entreprise ? – BusinessNow [En ligne]. Disponible sur : <https://businessnow.fr/solutions/linternet-des-objets-iot-quel-avenir-dans-le-monde-de-lentreprise/> (Consulté en aout 2022)
- CAPGEMINI. L'industrie gagnée par la révolution du cloud [En ligne]. Disponible sur : <https://www.capgemini.com/fr-fr/2022/06/lindustrie-gagnee-par-la-revolution-du-cloud/> (Consulté en juillet 2022)
- Bertrand PAILHES, Armand HESLOT. « Introduction au Cloud Computing : risques et enjeux pour la vie privée » [En ligne]. Disponible sur : <https://connect.ed-diamond.com/MISC/misc-060/introduction-au-cloud-computing-risques-et-enjeux-pour-la-vie-privee> (Consulté en juin 2022)
- Yasmine ALOUI. « Cloud Computing & IoT : Le duo incontournable » [En ligne]. Disponible sur : <https://iotindustriel.com/tendances-de-liot-industriel/cloud-computing-iot-le-duo-incontournable/> (Consulté en juin 2022)

- IOT FACTORY. « Aperçu des réseaux IOT » [En ligne]. Disponible sur : <https://iotfactory.eu/fr/centre-de-formation-iot/aperçu-des-reseaux-iot/> (Consulté en aout 2022)
- Gaétan RAOUL. « GCP programme la fin de Google IoT Core pour 2023 » [En ligne]. Disponible sur : <https://www.lemagit.fr/actualites/252524108/GCP-programme-la-fin-de-Google-IoT-Core-pour-2023> (Consulté en aout 2022).
- DIGITAL SNCF. « The Place To Coach », repenser le rôle managérial à l'heure digitale [En ligne]. Disponible sur : <https://www.digital.sncf.com/actualites/place-coach-repenser-le-role-managerial-lheure-digitale> (Consulté en aout 2022)
- INRIA. « Industrie 4.0 : opérateur et robot sont-ils faits pour s'entendre ? » [En ligne]. Disponible sur : <https://www.inria.fr/fr/industrie-robot-exosquelette-machine-learning> (Consulté en aout 2022)

Autres références bibliographiques

- Livre Blanc Expertise by Bosch Rexroth. « Usine du futur : Comment accélérer et réussir sa transformation industrielle ? Retours d'expérience, conseils et solutions »
- France Stratégie. « Le monde de l'Internet des objets : des dynamiques à maîtriser » (Février 2022). <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2022-rapport-iot-fevrier.pdf>

SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES

AWS : Amazon Web Services

ESN : Entreprises de Services du Numérique

ETI : Entreprises de Taille Intermédiaire

IA : Intelligence Artificielle

IaaS : infrastructure as a Service

IIOT : Industrial Internet of Things

IoT (ou IdO en français) : Internet of Things (Internet des Objets)

IT : Information Technology

M2M : Machine to Machine (communication de machine à machine)

OT : Operational Technology

PaaS : Platform as a Service

PME : Petites et Moyennes Entreprises

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

ROI : Return On Investment (Retour sur Investissement)

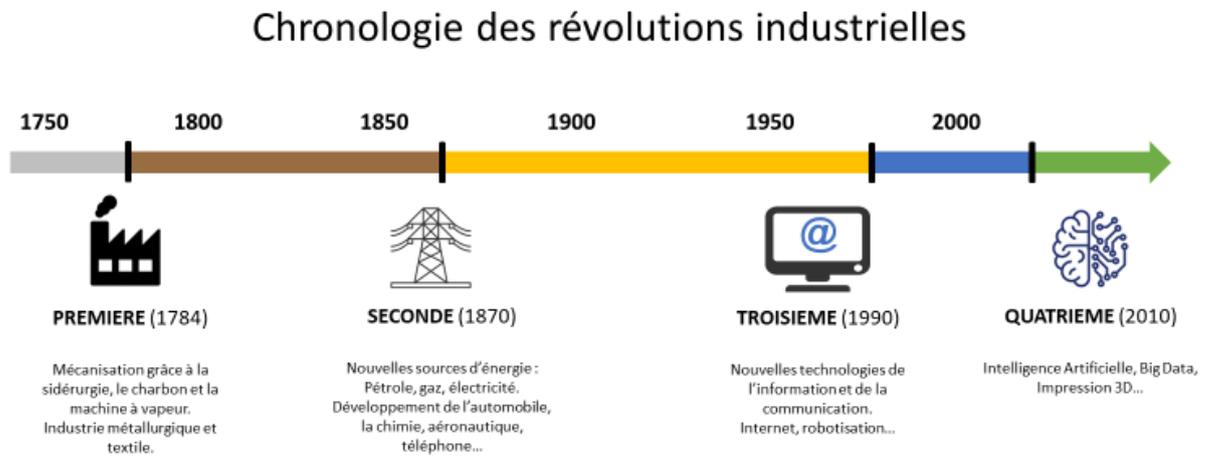
SaaS : Software as a Service

SSO : Single Sign-On (Authentication unique)

TABLES DES ANNEXES

| | |
|--|----|
| ANNEXE 1 : FRISE CHRONOLOGIQUE SIMPLIFIEE DES REVOLUTIONS INDUSTRIELLES | 69 |
| ANNEXE 2 : EVOLUTION DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE | 70 |
| ANNEXE 3 : DIFFERENTES SOLUTIONS DE MISE EN PLACE D'UN OUTIL INFORMATIQUE..... | 71 |
| ANNEXE 4 : EXTRAIT DES AMELIORATIONS DES SERVICES IOT D'AWS | 72 |

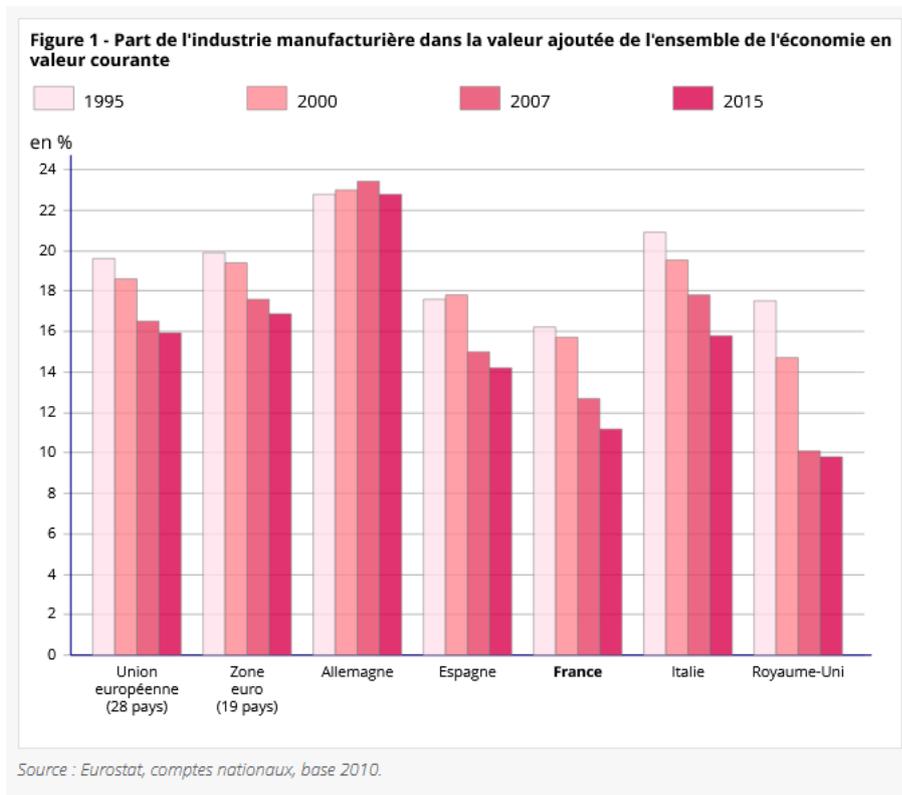
ANNEXE 1 : CHRONOLOGIE DES REVOLUTIONS INDUSTRIELLES



Annexe 1 : Frise chronologique simplifiée des révolutions industrielles

Frise chronologique basée sur carrementbechtle.com

ANNEXE 2 : EVOLUTIONS DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE



Annexe 2 : Evolution de l'industrie manufacturière

ANNEXE 3 :

DIFFERENTES SOLUTIONS D'OUTILS INFORMATIQUES

| On-site | IaaS | PaaS | SaaS |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Applications | Applications | Applications | Applications |
| Data | Data | Data | Data |
| Runtime | Runtime | Runtime | Runtime |
| Middleware | Middleware | Middleware | Middleware |
| O/S | O/S | O/S | O/S |
| Virtualization | Virtualization | Virtualization | Virtualization |
| Servers | Servers | Servers | Servers |
| Storage | Storage | Storage | Storage |
| Networking | Networking | Networking | Networking |

 You manage

 Service provider manages

Annexe 3 : Différentes solutions de mise en place d'un outil informatique

Source : redhat.com

ANNEXE 4 : AMELIORATIONS DES SERVICES AWS IoT

AWS IoT SiteWise est désormais disponible dans les régions AWS USA Est (Ohio) et Canada (Centre)

28/07/2022

AWS IoT Device Client v1.7 désormais disponible avec un fonctionnement amélioré et des fonctionnalités de sécurité

21/07/2022

AWS IoT Device Management Fleet Indexing prend désormais en charge deux sources de données supplémentaires

21/07/2022

AWS IoT Core facilite désormais l'approvisionnement d'appareils IoT vers différents comptes AWS et simplifie les inscriptions d'autorités de certification – disponibilité générale

07/07/2022

AWS IoT Greengrass prend désormais en charge MQTT v5

01/07/2022

AWS IoT Device Management annonce une réduction de 80 % du prix du tunneling sécurisé

07/06/2022

AWS IoT Device Management augmente la limite de tâches actives à 100 000 par compte AWS et par région

25/05/2022

Présentation d'un Programme de qualification d'appareil AWS plus flexible pour FreeRTOS

10/05/2022

Lancement de trois projets d'intégrations de référence FreeRTOS

10/05/2022

Annonce de trois nouvelles API pour l'extraction des données par lot dans AWS IoT SiteWise

09/05/2022

Annexe 4 : Extrait des améliorations des services IoT d'AWS

Source : AWS

TABLES DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| DECLARATION ANTI-PLAGIAT | 4 |
| REMERCIEMENTS | 6 |
| SOMMAIRE | 6 |
| AVANT-PROPOS | 8 |
| INTRODUCTION | 9 |
| PARTIE 1 : - CONTEXTE ET ENJEUX DES PROJETS IOT DANS LES ENTREPRISES INDUSTRIELLES | 11 |
| CHAPITRE 1 – SPECIFICITES DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES | 12 |
| I. Classification des entreprises..... | 12 |
| II. Contexte des entreprises industrielles | 12 |
| III. Besoins et contraintes des entreprises industrielles | 13 |
| CHAPITRE 2 – QU’EST-CE QUE L’IOT ? | 15 |
| I. Définition et origines de l’Internet des Objets..... | 15 |
| II. Enjeux et impacts..... | 16 |
| III. Quels sont les défis et les perspectives de l’IoT ? | 18 |
| CHAPITRE 3 – LES PLATEFORMES IOT AU CŒUR DES PROJETS..... | 21 |
| I. Les différentes solutions pour mettre en place un projet IoT | 21 |
| II. Les solutions cloud pour l’IoT | 23 |
| III. Comment fonctionnent les services cloud pour l’IoT ?..... | 26 |
| PARTIE 2 - LES FREINS A L’ADOPTION DES TECHNOLOGIES IOT DANS UN ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL | 28 |
| CHAPITRE 4 – LA MECONNAISSANCE DES BENEFICES D’UN PROJET IOT..... | 29 |
| I. Des avantages flous pour les entreprises | 29 |
| II. Un investissement conséquent..... | 30 |
| III. Un recul insuffisant sur les projets d’IoT | 31 |
| CHAPITRE 5 – PEUR DE LA COMPLEXITE TECHNIQUE | 33 |
| I. Evolution de l’infrastructure informatique | 33 |
| II. Une faible culture cloud et numérique..... | 34 |
| III. Des risques importants | 35 |
| CHAPITRE 6 – RETICENCES AU CHANGEMENT DE LA PART DES EQUIPES..... | 37 |
| I. Un fort impact organisationnel sur l’entreprise | 37 |
| II. Les freins des dirigeants de l’entreprise | 38 |
| III. Les freins des opérateurs sur le terrain | 39 |
| PARTIE 3 - COMMENT AIDER AU DEVELOPPEMENT ET A L’ACCEPTATION DES TECHNOLOGIES IOT DANS LES ENTREPRISES INDUSTRIELLES | 41 |
| CHAPITRE 7 – L’IOT : UN SECTEUR TOURNE VERS L’AVENIR..... | 42 |
| I. Les innovations liées à l’IoT | 42 |
| A. Des plateformes en progression constante... .. | 42 |
| B. ...Portées par des outils performants | 43 |
| C. Et des réseaux permettant une connexion toujours plus fiable et rapide..... | 43 |
| II. Des bénéfices qui se concrétisent pour l’industrie..... | 44 |
| III. Une technologie porteuse des transformations et évolutions de l’industrie | 45 |
| CHAPITRE 8 – ENTAMER LA TRANSFORMATION NUMERIQUE DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES..... | 48 |
| I. Un projet IoT, dans quel contexte ?..... | 48 |

| | | |
|--|--|-----------|
| II. | Une transformation globale vers une centralisation des processus de gestion de données | 49 |
| III. | Accompagner les salariés vers un nouveau rôle | 50 |
| CHAPITRE 9 – TIRER PARTI DES RETOURS D’EXPERIENCE SUR CE TYPE DE PROJETS | | 53 |
| I. | Cas de l’entreprise Bosch : Un des chefs de file de l’usine connectée en France..... | 53 |
| II. | L’utilisation concrète des plateformes cloud publiques | 54 |
| A. | Le partenariat entre le groupe Volkswagen et AWS..... | 54 |
| B. | Les atouts du cloud Azure pour l’entreprise Bentley Systems..... | 55 |
| III. | La transformation digitale de Michelin | 56 |
| CHAPITRE 10 – PROPOSITION D’ACTIONS VISANT A ENCOURAGER LE DEVELOPPEMENT D’UN PROJET IOT | | 58 |
| I. | Accompagner les industriels dans une démarche globale..... | 58 |
| II. | Identifier les transformations prioritaires | 59 |
| III. | Apports et limites du mémoire | 60 |
| CONCLUSION..... | | 62 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 64 |
| SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES..... | | 67 |
| TABLES DES ANNEXES..... | | 68 |
| TABLES DES MATIERES..... | | 73 |