

Table des matières

Déclaration.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	vii
Liste des figures.....	vii
1. Introduction.....	1
2. Ères industrielles	2
2.1 Avant les révolutions industrielles.....	2
2.1.1 Pré-industrie	2
2.2 Définition d'une révolution industrielle.....	2
2.3 1^{ère} et 2^{ème} révolutions industrielles.....	3
2.3.1 Date et appellation.....	3
2.3.2 Schéma simplifié d'une révolution industrielle.....	3
2.3.3 Economie	4
2.3.4 Socio-démographique.....	4
2.3.5 Technologique	4
2.3.6 L'Homme durant les révolutions.....	5
2.3.6.1 Marxisme et machine-outil.....	5
2.3.6.2 Changements dans les mentalités	5
2.4 3^{ème} révolution industrielle.....	5
2.4.1 Date et appellation.....	5
2.4.2 Economie	6
2.4.3 Socio-démographique.....	6
2.4.4 Technologique	6
2.4.5 L'Homme durant la révolution	7
2.5 4^{ème} révolution industrielle.....	7
2.5.1 Définition	7
2.5.1.1 Industrie 4.0 et entreprise 4.0.....	8
2.5.2 Nouvelles technologies.....	8
2.5.3 Mutation profonde (niveau systémique)	8
2.6 Bilan.....	9
3. Le robot	10
3.1 Définition d'un robot	10
3.1.1 Différence entre un automate et un robot.....	10
3.2 Évolution de la robotique.....	11
3.3 Types de robots.....	11
3.3.1 Les anthropomorphiques	11
3.3.2 Les robots mobiles, volants ou nageant.....	11

3.3.3	Les robots domestiques ou sociaux.....	12
3.3.4	Les Robots industriels	12
3.3.4.1	Exemple d'éléments constituant un robot industriel.....	12
3.4	Intelligence artificielle et apprentissage d'une machine.....	13
3.4.1	Évolution de l'intelligence artificielle (IA)	13
3.4.1.1	Types d'intelligence	13
3.4.2	Machine Learning	14
3.5	Collaboration humain-robot (CHR).....	14
3.5.1	Robots collaboratifs (cobots)	14
3.5.2	Pourquoi robotiser ?	15
3.5.2.1	Facteurs techniques	15
3.5.2.2	Facteurs humains	15
3.5.3	Progression des robots industriels dans le monde	16
3.6	Bilan.....	16
4.	Des machines.... Et des humains.....	18
4.1	Spécificités de l'Homme.....	18
4.1.1	Au niveau matériel	18
4.1.2	Au niveau cognitif	18
4.1.2.1	Intelligence émotionnelle	18
4.1.3	Au niveau spirituel	18
4.2	Notion d'appartenance au travail	19
4.3	Intelligence collective.....	19
4.4	Bilan.....	20
5.	Les entreprises dans cette « robolution »	21
5.1	Valeur ajoutée et employabilité	21
5.2	Principales théories sur l'organisation du travail	22
5.2.1	Organisation de l'entreprise de demain.....	22
5.3	Lean management et innovation	22
5.3.1	Chiffres sur l'innovation en industrie 4.0	24
5.4	Exemple d'entreprises qui ont robotisé à Genève	24
5.4.1	ABB (entreprise leader dans la technologie et l'automatisation)	24
5.4.2	ROLEX (entreprise de montres de luxe)	25
5.4.3	SIG (entreprise de services)	25
5.4.4	HUG (centre hospitalier)	26
5.5	Les PME dans l'industrie 4.0.....	26
5.6	Bilan.....	27
	Recommandations	28
	Conclusion.....	32
	Bibliographie	33

Annexe 1 : Tableau des phases du travail (Diagramme de Gantt)	40
Annexe 2 : Méthodologie	41
Annexe 3 : Industrie 4.0	42
Annexe 4 : Estimated worldwide annual shipments of industrial robots by regions (2007 – 2016)	43
Annexe 5 : Estimated annual supply of industrial robots at year-end by industries worldwide (2014 – 2016).....	44
Annexe 6 : Estimated annual shipments of multipurpose industrial robots in selected countries (2015 – 2020)	45
Annexe 7 : Rappel de la robotique en entreprise (SWOT)	46
Annexe 8 et 9 : Évolutions de pays sur la valeur ajoutée industrielle et l'employabilité (2000-2014)	47
Annexe 10 à 13 : Profil de pays (OCDE, 2017)	48
Annexe 14 : Principes d'organisation	49
Annexe 15 : Schéma de l'usine du Futur	50
Annexe 16 : Lean Management.....	51
Annexe 17 : Questionnaire destiné aux entreprises	56
Annexe 18 : Parties prenantes (Stakeholders)	57
Annexe 19 : Outils d'analyse dans les entreprises du secteur secondaire	58
Annexe 20 : Échelle de perception d'autonomie de robot (EPAR)	59

Liste des tableaux

Tableau 1 - Difference between two Businesses (Lean)	23
--	----

Liste des figures

Figure 1 – Machinism by agricultural revolution (1881)	2
Figure 2 – Industrial revolution scheme	3
Figure 3 – Progress of the railroad, France (1832-1870).....	4
Figure 4 – Cotton industry (1823).....	5
Figure 5 - Assembly lines of <i>Peugeot 104</i> (1970).....	6
Figure 6 -Automated robot (ABB).....	6
Figure 7 - innovation industry	7
Figure 8 - Concepts Industry 4.0	8
Figure 9 - Internet of Things (IoT)	9
Figure 10 - <i>Atlas</i> humanoïde	10
Figure 11 - <i>Unimate</i> (1961).....	11
Figure 12 - <i>Curiosity</i> Rover (NASA)	11
Figure 13 - Articulate Robot (FANUC).....	12
Figure 14 - Delta Robot (FANUC)	12
Figure 15 - <i>YUMI</i> (ABB)	15
Figure 16 – <i>Sawyer</i> (Rethink Robotics).....	15
Figure 17 - <i>LBR iiwa</i> (KUKA)	17
Figure 18 - Human and robots	19
Figure 19 - Production system Toyota	51
Figure 20 - Three key elements (Lean)	51
Figure 21 - Stakeholders.....	57

1. Introduction

« La quatrième révolution industrielle bouleverse notre société dans ses fondements. »

(Schwab 2016, Le Temps)

Beaucoup de scientifiques s'interrogent sur l'impact de l'industrie 4.0, présentée en 2009 dans le cadre d'un projet par le gouvernement allemand.

Chaque révolution a apporté son lot de modifications. Lors de la première révolution, la mécanisation a amené un exode massif des artisans dans les usines. La seconde a amené une intensification des processus grâce à de nombreux modèles organisationnels. Quant à la troisième, grâce à l'arrivée d'Internet et du numérique, les entreprises se sont tournées vers l'automatisation des processus de production. Aujourd'hui, plus besoin de codifier les machines : elles sont connectées et intelligentes. De nouvelles technologies font leur arrivée comme l'impression 3D ou la réalité augmentée. C'est une corrélation entre digitalisation, interconnexion et monde virtuel.

Mais alors, à quoi sert maintenant l'humain dans une entreprise composée de robots plus efficaces et moins chers me direz-vous ? C'est la principale problématique de ce dossier. **Je cherche à savoir si, dans cette nouvelle industrie robotisée, une collaboration entre l'humain et le robot est envisageable.** Pour répondre à cela, mes questions de recherches sont de savoir s'il est possible que le collaborateur travaille avec un robot, si le robot est réellement autonome et si l'humain aura une place de travail demain, parmi tous ces robots.

Ce document sera abordé de manière pragmatique grâce à des études sur le terrain avec des interviews de spécialistes dans le domaine. Il sera divisé en plusieurs parties comprenant de la théorie et de la pratique. Vous trouverez, en annexe 1 et 2, les différentes phases et la méthodologie appliquée pour ce travail.

Concernant les limites dudit document, mon travail ne développera pas tous les points de la 4ème révolution industrielle. De plus, mes recherches en robotique seront spécifiques pour les robots industriels et ne traiteront pas le côté technique (programmation, algorithmes). Du côté de la sociologie, mon but est de comprendre les différences entre un humain et un robot et ne pas développer tous les aspects de la psychosociologie. Enfin, pour les entreprises ne m'ayant révélé que peu d'informations, leur transformation n'est pas représentative pour leur secteur. Pour finir, mon travail s'intéresse principalement au secteur de production, mais avec une ouverture aux métiers du service.

2. Ères industrielles

Cette partie, principalement théorique, est déterminante étant donné qu'elle permet de comprendre les différents impacts des révolutions industrielles dans notre société. De plus, j'ai opté pour effectuer les recherches au format PESTEL⁴, car cela permet de révéler l'essentiel de chaque dimension. Une approche humaine est commentée à la fin de la révolution industrielle afin de comprendre l'effet des innovations sur les humains.

La première et la seconde révolution industrielle sont traitées en commun puisque les innovations sont assez similaires. La corrélation entre l'industrie 3.0 et 4.0 demandent une étude séparée entre ces deux révolutions. Mon travail étant en lien avec la quatrième révolution, j'approfondirai certaines techniques, comme l'intelligence artificielle, dans la section suivante.

2.1 Avant les révolutions industrielles

2.1.1 Pré-industrie

Le terme « pré-industrie » s'applique à une partie du Moyen Âge jusqu'au début du monde contemporain⁵.

Il n'existait pas d'usine à proprement parlé. En effet, la production était majoritairement artisanale, grâce à la force des animaux et des humains, et la population surtout présente dans le secteur agricole (cf. figure 1).

Figure 1 – Machinism by agricultural revolution (1881)



(Wikipedia, 2017)

2.2 Définition d'une révolution industrielle

Les révolutions industrielles indiquent plusieurs vagues de modernisation, dans différents domaines, et désignent une rupture majeure dans les habitudes et dans la place de l'humain au niveau sociétale.

Une autre explication, donnée par un magazine, est que les révolutions industrielles sont

« (...) de grands cycles d'innovation qui ont profondément transformé non seulement la production industrielle et son organisation, mais aussi la dynamique économique dans son ensemble. »

(Alternatives Economiques 2012, hors-série n°93)

⁴ Modèle d'analyse politique, économique, sociologique, technologique, écologique et légal permettant d'identifier les influences majeures de l'environnement sur une organisation

⁵ Entre 1490 et 1750

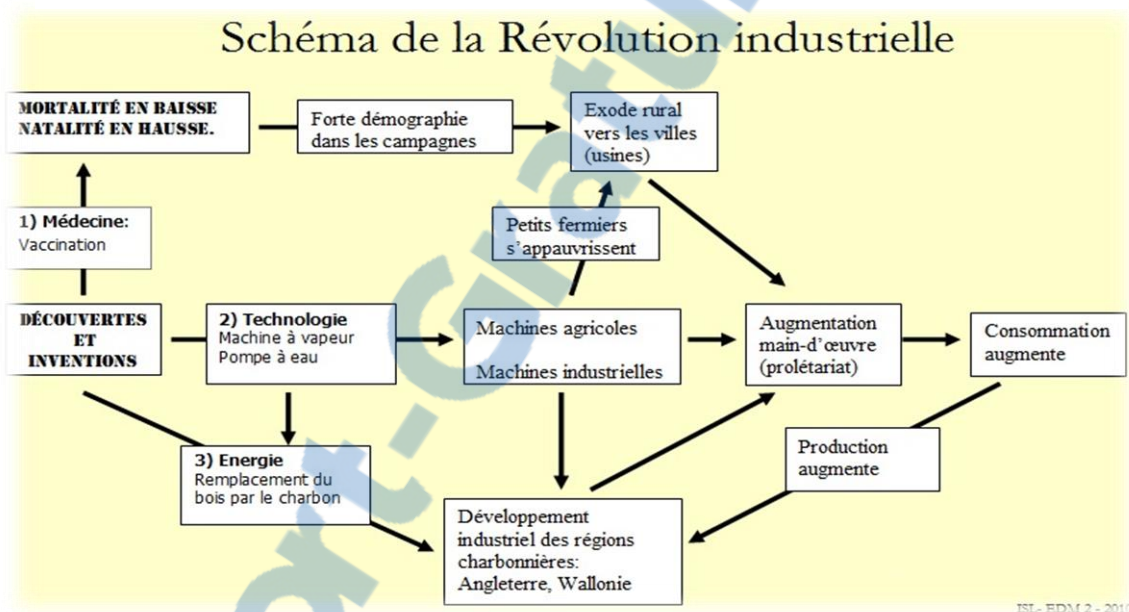
2.3 1^{ère} et 2^{ème} révolutions industrielles

2.3.1 Date et appellation

La première révolution industrielle⁶, aussi appelée « l'ère de la production mécanisée », apparaît à la suite de la révolution agricole. Elle possède comme finalité la mécanisation des systèmes de production grâce à l'invention de machines à moteur. Elle est suivie peu après par la seconde révolution industrielle⁷ et le résultat de cette dernière est la productivité de masse grâce à la création d'usines.

2.3.2 Schéma simplifié d'une révolution industrielle

Figure 2 – Industrial revolution scheme



(Isl-histoire.over-blog, 2010)

Le schéma de la première révolution industrielle, similaire à la seconde, explique les principales modifications qui ont amené ce développement industriel.

Nous pouvons y constater que les différentes découvertes, telles que la machine à vapeur ou encore la pompe à eau, ont permis de créer de nouvelles machines industrielles. S'en est suivi un exode de la population rurale en bonne santé vers les villes, causant une augmentation de la main d'œuvre et, de surcroît, une augmentation de la consommation. Ce facteur, ajouté au remplacement du bois par le charbon, a permis le développement industriel des régions riches en charbon.

⁶ Entre 1760 et 1840

⁷ Entre 1880 et 1900

2.3.3 Economie

L'invention de la machine à vapeur en 1769 par James WATT⁸ déclenche le développement des manufactures comme l'industrie du textile, les chemins de fer et bien d'autres. C'est le début de la mécanisation des machines.

La société se bouleverse et passe du stade rural à industriel. Les usines doivent s'organiser, car elles ne constituent plus de simples « entreprises familiales » mais une organisation de tâches adressées à plusieurs ouvriers.

Ainsi, les secteurs économiques prennent forme. Par exemple, au Royaume-Uni, le secteur primaire, qui concerne l'extraction de ressources naturelles, subit une baisse de 12%, tandis que le secteur secondaire, correspondant à la manufacture, et tertiaire, aux services, croissent inébranlablement de respectivement 46% et 42%.

2.3.4 Socio-démographique

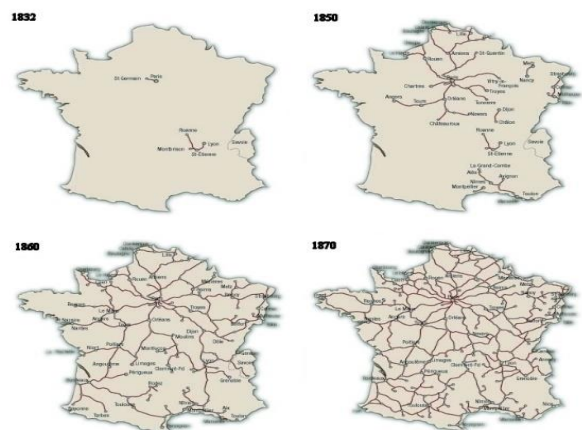
Malgré l'apparition de famines ou encore de maladies, la population s'accroît et atteint le milliard vers 1825. L'agriculture, l'élevage, la sédentarité, la navigation ainsi que d'autres facteurs assurent une alimentation abondante à la société et le progrès de la médecine en réduit la mortalité.

2.3.5 Technologique

Les avancées technologiques sont possibles par l'arrivée de nouvelles sources d'énergies comme, en 1800, l'apparition de la vapeur qui se substitue principalement aux animaux. L'électricité arrive 40 ans plus tard peu avant l'apparition du pétrole en 1863.

Ces nouvelles énergies ont amélioré les outils existants et ont notamment créé en 1886 le premier véhicule à essence.

Figure 3 – Progress of the railroad, France (1832-1870)



(Laissey, 2017)

Le « machinisme »⁹ et l'arrivée de nouveaux moyens de transport, comme le transport maritime en 1807 ou le chemin de fer 30 ans après, permettent de développer le réseau routier diminuant ainsi le temps de déplacement et augmentant la quantité de production (cf. figure 3).

⁸ Ingénieur écossais (1736-1819)

⁹ Amélioration des machines existantes

2.3.6 L'Homme durant les révolutions

2.3.6.1 Marxisme et machine-outil

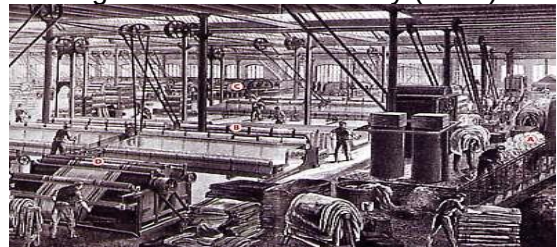
Karl MARX¹⁰ a décrit la mécanisation du travail comme progrès et obstacle pour un ouvrier. Ce développement qu'est la productivité du travail devient illimité et la machine remplace l'humain qui manie l'outil. Il exprime que « *dès que l'instrument, sorti de la main de l'homme, est manié par un mécanisme, la machine-outil a pris la place du simple outil.* » (Marx 1963, Capital, L.1, Pléiade, T.1, p.917).

2.3.6.2 Changements dans les mentalités

L'industrialisation a permis à l'humain de créer une société urbaine. L'exode rural s'intensifie à mesure que les gains en productivité dans les entreprises et la concurrence sur les marchés s'accroissent. C'est ainsi que l'humain quitte le secteur agricole pour se rendre là où la demande est forte et la pénurie de main d'œuvre existante : l'usine.

La figure 4 ci-dessous reflète cette mécanisation dans une industrie de Coton.

Figure 4 – Cotton industry (1823)



(Van Eeghem, 2010)

Selon David LANDES¹¹ dans le livre « *richesse et pauvreté des nations* » paru en 2000, ces changements de mentalités sont liés à trois piliers :

- La substitution de l'humain avec l'arrivée des machines,
- La production d'énergie par les machines,
- L'utilisation de nouvelles matières premières.

2.4 3^{ème} révolution industrielle

2.4.1 Date et appellation

La troisième révolution industrielle¹² est marquée par des tournants dans l'économie et la constatation de dépendances aux énergies fossiles a fait émerger des défis environnementaux. Aussi appelée « ère numérique » ou « ère informatique », la digitalisation amène de nouvelles réflexions quant aux modèles organisationnels.

¹⁰ Philosophe et défenseur de la lutte des classes sociales (1818-1883)

¹¹ Historien américain (1924-2013)

¹² Entre 1960 et 2000

2.4.2 Economie

Malgré plusieurs conflits meurtriers dans l'histoire mondiale, comme la Seconde Guerre Mondiale¹³, l'Europe vit ensuite dans une époque appelée « les trente glorieuses ». La production mondiale progresse rapidement avec un rythme de 5% par année, avec un plein-emploi généralisé et un niveau de vie qui s'améliore.

Figure 5 - Assembly lines of Peugeot 104 (1970)



(Le Monde, 2014)

Le commerce mondial s'accroît avec des traités signés entre les pays ce qui pousse à la production de masse. Par exemple, le secteur automobile se développe fortement (cf. figure 5).

2.4.3 Socio-démographique

La croissance démographique entre 1946 et 1964 est rapide car elle est sous l'impulsion d'un taux de natalité lié au *baby-boom*. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) permettent aux utilisateurs de communiquer, stocker, transmettre et d'accéder aux sources d'information sous toutes les formes.

2.4.4 Technologique

Les moyens de transport s'améliorent toujours et l'arrivée de l'aviation permet de développer les réseaux à l'international. L'uniformisation médiatique, comme la télévision, le cinéma ou la radio, optimisent la communication et libéralisent l'information en devenant les piliers de la nouvelle société.

Figure 6 -Automated robot (ABB)



(Innov-robotics, 2017)

Le décollage de l'informatique avec les premiers ordinateurs vers 1975 et l'arrivée d'Internet en 1990 impacte tous les citoyens ainsi que les entreprises dans leur mode de vie.

L'explosion de recherches et d'interactions entre sciences et techniques permettent d'améliorer les industries. La robotique connaît dès lors un essor considérable comme le prouve la figure 6.

¹³ Entre 1939 et 1945

2.4.5 L'Homme durant la révolution

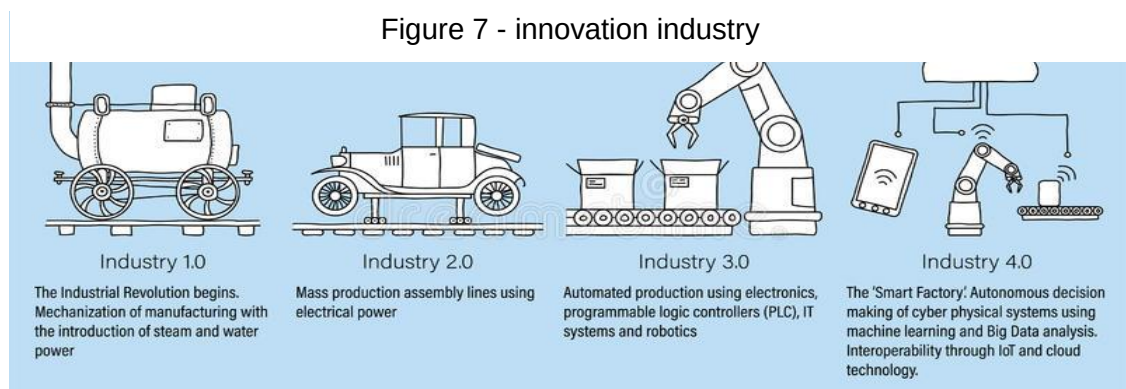
Malgré que la croissance soit inégale entre les diverses classes sociales, la société subit une urbanisation avec environ 80% de la population présente dans les grandes villes. L'humain évolue au sein de la société et les structures dans les entreprises laissent place à une plus grande liberté. La prise de conscience dont l'Homme fait preuve quant à l'environnement transforme peu à peu la consommation en autoconsommation.

2.5 4^{ème} révolution industrielle

2.5.1 Définition

L'industrie 4.0 débute au XXI^e siècle et est toujours d'actualité. C'est la corrélation entre une ère qui unit digitalisation, interconnexion et monde virtuel. Elle a, *a contrario* de ses prédécesseurs, la particularité d'être une industrie totalement numérique et qui transforme l'approche industrielle des entreprises.

Ci-dessous un schéma résumant les principaux aspects des diverses révolutions industrielles :



(Dreamstime, 2017)

L'élément déclencheur est l'émergence de plusieurs technologies combinées à un besoin réel de rupture des systèmes précédents. Cette 4^{ème} révolution présente toutefois une forte dépendance à Internet.

Durant la conférence internationale pour la gestion de l'innovation professionnelle, concernant les bénéfices et les challenges de l'industrie 4.0, des scientifiques ont exprimé que l'amélioration de l'internet des objets (IdO)

« est en temps-réelle, intelligente, connectée en horizontale comme en verticale entre personnes, machines, objets et avec les systèmes d'informations et de communications, afin de gérer dynamiquement les systèmes complexes. »

(Conférence ISPIM 2017, volume 28)

De plus, le *cyber physical system* (CPS) correspond à une intégration d'électronique, de logiciels, de capteurs, tous dotés d'une capacité d'interactions entre eux ce qui favorise l'échange d'informations et une meilleure traçabilité.

Les machines subissent de grandes modifications et deviennent intelligentes, flexibles et autonomes. La maintenance est alors préventive, grâce à une analyse des mégadonnées¹⁷ et de l'intelligence artificielle qui détecte les signaux faibles¹⁸. L'annexe 3 résume les principaux points de l'industrie 4.0.

Deux effets sont importants à noter durant cette révolution : l'effet de destruction lié à la disruption et l'automatisation des entreprises, ce qui condamne l'humain et qui le substitue notamment par des robots, et l'effet de capitalisation qui crée de nouveaux métiers et de nouvelles entreprises grâce à une production nouvelle et un accroissement de biens et de services.

2.6 Bilan

Chaque révolution amène un environnement plus volatil, incertain, complexe et ambigu (VUCA). Néanmoins, « *dans les entreprises, l'innovation est considérée comme un aspect important du succès à long terme afin de survivre.* » (Anderson et al. 2014).

Les objets et les robots deviennent intelligents et toute la chaîne de valeur est connectée à l'entreprise grâce à l'analyse de données et le stockage de masse, formant un écosystème flexible et attractif (cf. figure 9). La personnalisation de masse, la relocalisation industrielle ou encore les équipes apprenantes permettent à l'industrie de devenir propre, attractive et valorisante.

Figure 9 - Internet of Things (IoT)



(Possibility, 2017)

Cette ère virtuelle implique des changements profonds au sein de la société. La production et la consommation vont être totalement transformées. L'automatisation ainsi que la numérisation sont maintenant omniprésentes et les entreprises font de grandes transformations par le biais de création de bases d'utilisateurs et d'importantes innovations dans ces domaines (comme les géants du Web GAFA¹⁹ ou BATX²⁰).

¹⁷ *Big Data* (ang.)

¹⁸ Signaux d'alerte précoces

¹⁹ Abréviation de Google, Apple, Facebook et Amazon

²⁰ Abréviation de Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi

3. Le robot

Afin de comprendre au mieux le but de la robotisation et, de ce fait, l'impact qu'à la robotique dans une entreprise, il faut définir ce qu'est d'abord un robot dit « industriel ».

J'ai choisi de m'intéresser principalement aux robots dotés d'un bras articulés puisque ce sont les plus présents dans la production. De plus, l'intelligence artificielle joue un rôle important et il va de soi qu'elle possède un impact sur les possibilités d'emploi de ces robots.

J'ai eu l'opportunité d'aller à l'hepia²¹ afin de discuter avec plusieurs ingénieurs, et par ailleurs, tester différents robots industriels. Des entreprises ont aussi répondu aux raisons de robotiser et les avantages ou inconvénients que cela apporte.

3.1 Définition d'un robot

Le terme robot apparaît pour la première fois en 1920 dans une pièce de théâtre tchèque de Karel CAPEK, où le mot *robota* désigne « la corvée ».

Dans un des livres de Daniel ICHBIAH²², il propose la définition suivante :

« Un superordinateur logé dans un corps mobile, capable de fonder ses actions de manière raisonnée sur ce qu'il perçoit du monde extérieur ».

(Ichbiah 2005, « Robots, genèse d'un peuple artificiel », chapitre 1)

En somme, un robot est un ordinateur capable de se mouvoir et d'interpréter son environnement (cf. figure 10).

Figure 10 - *Atlas* humanoïde



(Boston Dynamics, 2013)

3.1.1 Différence entre un automate et un robot

De nos jours, certaines entreprises possèdent des automates et d'autres des robots. Il existe une réelle différence entre ces deux termes. Jean-Claude HEUDIN²³ définit :

« Un automate déroule mécaniquement une succession prédéfinie et immuable d'actions, alors que le robot est capable d'interagir avec son environnement et de modifier son comportement en fonction des situations qu'il rencontre. »

(Heudin 2016, « Robot erectus », p.8)

²¹ Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture à Genève

²² Célèbre écrivain français spécialisé en robotique

²³ Scientifique français s'intéressant à la vie artificielle

3.2 Évolution de la robotique

Les robots ne datent pas de ce siècle. C'est pourquoi, il est important d'étudier la provenance et l'évolution de la robotique pour comprendre l'avancée technologique des robots actuels.

Les créatures artificielles sont présentes bien avant 1920 et remontent même à l'antiquité. Néanmoins, au XVIII^e siècle apparaît la première génération d'automates comme *le canard digérateur* de Jacques VAUCANSON²⁴. Tous ces automates étaient totalement mécaniques et possédaient un système de mémoire à lecture seule.

La deuxième génération symbolise l'évolution des automates en robots dès le début du XX^e siècle. Ils sont équipés de capteurs et d'actuateurs afin de délimiter leur environnement. *Unimate* est le premier robot industriel créé par George DEVOL²⁵ et qui a vu le jour en 1961 dans les lignes d'assemblage de General Motors (cf. figure 11).

Figure 11 - *Unimate* (1961)



(Robotics.org, 2018)

La troisième génération, toujours d'actualité, est celle combinant la mécatronique²⁶. Ces robots possèdent une sorte d'intelligence artificielle leur permettant d'évoluer dans l'environnement dans lesquels ils sont programmés.

De grandes marques comme ABB ou FANUC créent des robots industriels sur-mesure et programmables pour une multitude de tâches, comme la découpe, l'emballage, la soudure ou encore la peinture.

3.3 Types de robots

Il existe une multitude de robots mais je vais uniquement citer les plus courants.

3.3.1 Les anthropomorphiques²⁷

Ces robots possèdent une forme rappelant la morphologie humaine. Ils sont aussi appelés Humanoïdes.

Figure 12 - *Curiosity* Rover (NASA)



(Nasa, 2014)

3.3.2 Les robots mobiles, volants ou nageant

Ils sont plutôt utilisés à des fins d'exploration ou de vérification sur terrain comme sur la figure 12 avec *Curiosity* de la NASA.

²⁴ Mécanicien français (1709-1782)

²⁵ Pionnier de la robotique universelle (1912-2011)

²⁶ Électronique, informatique et mécanique

²⁷ En science-fiction, le terme utilisé est androïde (H) ou gynoïde (F)

3.3.3 Les robots domestiques ou sociaux

Ce type de robots est le plus commun pour un citoyen car il est en contact direct avec les utilisateurs, comme par exemple, les robots aspirateurs ou encore les robots cuisiniers. De même que certains robots sont inspirés d'espèces vivantes comme les chiens.

3.3.4 Les Robots industriels

Ces robots m'intéressent principalement pour mon travail puisque ces derniers sont officiellement décrits dans une norme ISO comme :

« Machine dont le mécanisme est généralement composé d'une série de segments, articulés ou coulissants l'un par rapport à l'autre, ayant pour but de saisir et/ou de déplacer des objets (pièces ou outils) généralement suivant plusieurs degrés de liberté. »

(ISO 8373:2012, « Robots et composants robotiques », édition 2)

Il existe une multitude de robots en entreprise, comme les bras articulés (cf. figure 13), SCARA, CNC, « pick and place », Delta (cf. figure 14), et bien d'autres encore.

Figure 13 - Articulate Robot (FANUC)



(Direct Industry, 2018)

Figure 14 - Delta Robot (FANUC)



(Direct Industry, 2018)

3.3.4.1 Exemple d'éléments constituant un robot industriel

Pour un robot doté d'un bras articulé, il faut :

- Un bras : élément mécanique principal existant sous différentes formes
- Un contrôleur : cerveau du robot permettant de contrôler ce dernier
- Un système de programmation : effectué via un PC ou un « *teach pendant* »²⁸
- Un préhenseur et/ou outils : prolongation du robot afin d'effectuer sa tâche

²⁸ *Panneau de commandes déporté (fr.)*

3.4 Intelligence artificielle et apprentissage d'une machine

Ces derniers sont deux outils importants permettant d'améliorer les capacités de travail d'une machine et pouvant impacter ma problématique.

3.4.1 Évolution de l'intelligence artificielle (IA)

L'apparition du mot « intelligence artificielle » se fait aux alentours des années 1960 et connaît de nombreuses évolutions depuis. La première grande modification de l'IA est en 1970 qui se constitue de réseaux sémantiques. Puis vient une évolution où le connexionnisme se perfectionne et où la formation d'algorithmes donne tout son sens. L'IA et la robotique ont produit des agents « intelligents » provoquant en nous un sentiment d'illusion d'intelligence humaine. Dernière grande évolution, en 2010, la puissance des machines grâce aux masses de données fait que les techniques d'apprentissages progressent, comme la reconnaissance visuelle, la capacité à reconnaître une langue, les assistants dans les *Smartphones*²⁹ ou bien les publicités ciblées sur des sites en fonction des recherches ou des habitudes de l'utilisateur.

3.4.1.1 Types d'intelligence

Il est important de noter l'existence de deux types d'intelligence artificielle qui font tous deux appels à des logarithmes, mais qui n'ont pas la même utilisation.

La première est dite faible³⁰ étant donné qu'elle simule des facultés cognitives limitées comme la reconnaissance de la langue ou la conduite automatique. Elle possède aussi une autonomie et une forte capacité à résoudre des problèmes. Néanmoins, elle affiche l'intelligence par des réflexions et des analyses logiques qu'un humain aurait faites. La seconde IA est dite forte³¹ parce qu'elle est capable d'actions intelligentes grâce à des réseaux neuronaux, mais aussi de comprendre et d'analyser ses propres raisonnements. C'est une version similaire à l'intelligence humaine.

L'intelligence fonctionne principalement en binaire comprenant le « vrai » et le « faux » quelle que soit sa complexité. La mémorisation, la reconnaissance faciale ou le raisonnement logique sont faisables pour les robots puisqu'ils possèdent un caractère répétitif. Néanmoins, si on touche au génie d'un humain, les robots sont incapables à l'heure actuelle de les reproduire.

²⁹ *Téléphones intelligents (fr.)*

³⁰ *Weak artificial intelligence (ang.)*

³¹ *Strong artificial intelligence (ang.)*

3.4.2 Machine Learning

Il existe une multitude d'apprentissage pour les machines³², que ce soit un apprentissage supervisé par un humain ou non-supervisé. Ceci permet une réelle évolution pour les robots.

L'apprentissage profond³³ est maintenant le plus compétent de tous, car il permet de corréler de grandes bases de données, grâce à un système neuronale possédant de puissants algorithmes, et qui surpassent les autres méthodes d'apprentissage. Par exemple, *FaceNet* de Google obtient un taux d'identification correcte à 99.63% sur une reconnaissance faciale de plus de 200 millions de visages.

3.5 Collaboration humain-robot (CHR)

Élément fondamental de mon Bachelor, il faut définir si le mot « collaboration » est possible entre les deux espèces. J'ai eu la chance d'aller au laboratoire de l'hepia afin de connaître l'avis des ingénieurs à ce sujet.

Les robots industriels sont souvent composés de six axes, dont trois sont destinés à l'orientation de la machine et trois à la position de l'outil dans son espace. Tous ces robots sont protégés par des cages comprenant des capteurs afin que les collaborateurs ne se mettent pas en danger. Que ce soit dans les métiers de maniement d'objets lourds ou de précision, les robots s'adaptent à leur environnement.

L'interaction homme-robot peut se faire de deux manières :

- Via une caméra au-dessus du bras articulé du robot,
- Via une interface humain-machine³⁴ comme un ordinateur ou un contrôleur.

Il est aussi possible de faire collaborer plusieurs robots entre eux en les connectant au même contrôleur.

3.5.1 Robots collaboratifs (cobots)

Ce type de robots, dérivés des robots industriels, agit comme un assistant et intervient de manière ciblée dans les tâches des collaborateurs, qu'ils soient automatisés ou pas. Ils sont facilement reprogrammables, déplaçables ou encore redéployables. Aujourd'hui, ces cobots complètent les autres types de robots industriels. C'est donc ce type de robot qui m'intéresse principalement dans mon sujet.

³² *Machine learning (ang.)*

³³ *Deep learning (ang.)*

³⁴ *Human Machine Interface, HMI (ang.)*

Avant les années 2000, les robots étaient volumineux, isolés, longs à programmer et onéreux. Aujourd'hui, ils sont petits, programmables facilement, bon marchés et collaboratifs.

De nombreuses entreprises commencent à investir dans YUMI³⁵ (cf. figure 15) qui possède deux bras articulés avec une programmation par apprentissage. Il est totalement collaboratif, convivial et personnalisable. Ce changement a pour but d'améliorer la collaboration entre l'humain et le robot et inverser la tendance en ayant des cobots aussi puissants que les robots industriels traditionnels.

Figure 15 - YUMI (ABB)



(YuMi, new ABB, 2017)

3.5.2 Pourquoi robotiser ?

3.5.2.1 Facteurs techniques

Les robots réduisent les coûts de main d'œuvre car ils permettent de travailler de manière constante, autonome³⁶, rapide et ils effectuent des tâches répétées sans augmenter les risques de dégradation des performances. Ils peuvent aussi obtenir une erreur de répétabilité bien inférieure à celle des collaborateurs. De plus, les robots peuvent être programmés pour diverses opérations et sont donc extrêmement mobiles.

Figure 16 – Sawyer (Rethink Robotics)



(La Tribune, 2017)

Pour finir, ils augmentent le volume produit et la qualité des pièces, ainsi que la vitesse et le taux d'engagement des machines tout en diminuant le coût unitaire des pièces et le taux de rebuts.

D'après ABB, le coût d'investissement partiel d'un service varie entre CHF 100'000 et CHF 500'000. Cela dépend du type et du nombre de machines. De plus, il faut tenir compte du programme et de l'intégration du robot dans sa cellule.

3.5.2.2 Facteurs humains

Depuis la nuit des temps, l'humain déprise certains types de tâches et souhaite se simplifier la vie. Les robots sont donc une solution propice à leur vœu.

³⁵ Robot à double bras articulés : You & Me

³⁶ 24/7 (24h/24 et 7j/7)

Les robots permettent d'améliorer la productivité et la compétitivité des entreprises et ainsi maintenir l'emploi. Ils servent aussi à décharger les contraintes qui peuvent nuire à la santé d'un employé. L'arrivée de robots ne signifie pas remplacer les salariés, mais leur confier des missions plus intéressantes que les tâches pénibles et répétitives.

La flexibilité, la qualité et la répétitivité de ces robots permettent à l'entreprise de devenir agile et de valoriser les réelles compétences des humains.

3.5.3 Progression des robots industriels dans le monde

Vous trouverez en annexe divers chiffres sur les robots industriels qui expliquent la progression de ces robots et l'utilisation toujours plus intensive dans différents secteurs.

La première annexe démontre que le marché d'Asie et d'Australie sont les principaux utilisateurs de la robotique, mais que l'Europe se robotise petit à petit (cf. annexe 4). Le marché de l'automobile reste tout de même le premier client de la robotisation (cf. annexe 5). Le site de la fédération internationale de la robotique estime des progrès exponentiels dans la plupart des pays, dont les robots industriels sont de 1.828.000 unités en 2016 et seront de 3.053.000 unités fin 2020 (cf. annexe 6).

3.6 Bilan

L'emploi a augmenté car il est directement influencé par la robotique, mais les robots sont infatigables contrairement à l'Homme, ce qui paradoxalement les substitue à ce dernier.

En somme, beaucoup de métiers « du passé » seront automatisés par des robots possédant une IA suffisamment puissante. Par exemple, les caisses des supermarchés ou les call centers sont peu à peu remplacés par des automates ou des *chatbots*. Même les métiers à hautes qualifications comme les avocats sont déjà en mutation par des IA appelées *legalbots* dans de nombreux cabinets aux États-Unis. De plus, beaucoup de métiers possédant un contact « humain » sont remplacés par des robots au Japon, comme des humanoïdes qui présentent un journal télévisé.

Cependant, en 2013, l'*International Federation of Robotics (IFR)* publie une étude sur l'impact positif des robots industriels dans les entreprises. Les pays comme l'Allemagne, le Japon ou encore la Suède, qui sont très développés en termes de robotique d'entreprise, possèdent des taux de chômage quasi-nuls. Automatiser permet donc de garder les emplois, puisque cela permet de baisser les coûts et les entreprises sont finalement moins tentées par une délocalisation ou des licenciements économiques.

Des scientifiques estiment à 5.7 millions d'emplois perdus d'ici 2035 en Europe, ce qui correspond à la crise financière de 2015. Mais cette recréation d'emploi, grâce à la modernisation des tâches, de nouvelles technologies ou une relocalisation des entreprises va potentiellement créer de l'emploi pour 9.7 millions de personnes.

C'est d'ailleurs ce que les ingénieurs m'ont confirmé : les robots vont permettre de meilleures performances pour l'entreprise, tout en permettant aux collaborateurs de s'épanouir dans des tâches plus intéressantes. Très peu d'entreprises ont licencié des collaborateurs et ont plutôt préféré les réaffecter à d'autres tâches ou d'autres services. C'est pourquoi, une entreprise robotise une partie de la production, mais jamais *toute* l'entreprise, car beaucoup de métiers ne peuvent être robotisés et nécessitent des compétences que seul un humain possède³⁷.

KUKA, un des leaders en robots industriels, explique que la collaboration homme-robot est un principe important de l'industrie 4.0. En effet, le robot collaboratif assiste et complète l'humain dans ses aptitudes (cf. figure 17). L'usine du futur, selon leur dire, sera une entreprise sans barrières de protection entre les postes de travail.

Figure 17 - LBR iiwa (KUKA)



(Kuka fanshop, 2018)

D'ailleurs, l'annexe 20 explique trois types d'autonomie d'un robot. Cela permet de comprendre de manière approfondie les caractéristiques et les limites que doit, ou devrait, avoir un robot sur les plans énergétiques, cognitifs et moteurs.

Dans le livre « *Intelligence artificielle, vers une domination programmée ?* », l'auteur s'exprime quant aux robots dans une entreprise :

« L'erreur est humaine ; la machine est parfaite, seul l'homme commet des erreurs. Mais seul l'homme est capable de corriger ses fautes... et seul l'homme sait déceler les insuffisances des machines et évaluer la pertinence ou l'inadéquation de leur utilisation. »

(Ganascia 2017, « les ordinateurs ne se trompent jamais », p.91)

³⁷ *Soft Skills (ang.)*

4. Des machines.... Et des humains

Dans cette troisième partie, je vais m'intéresser au capital humain de l'entreprise. En effet, l'un des piliers de ma problématique est de comprendre ce qui différencie un humain d'un robot et la place qu'occupe le collaborateur dans l'entreprise.

J'ai eu la chance de pouvoir discuter avec différents sociologues afin de comprendre la nécessité d'avoir des humains dans la société actuelle.

4.1 Spécificités de l'Homme

4.1.1 Au niveau matériel

L'anatomie de l'humain est faite d'une structure physique appelée « corps ». Ce dernier est constitué de nombreux systèmes, comme le système nerveux ou le système respiratoire, et est constitué de 206 os et de 639 muscles. Le corps a besoin de repos et de nutriments pour rester en forme.

Le cerveau est divisé en deux hémisphères. C'est l'organe principal de « l'intelligence » qui se développe continuellement et sans aucune limite, sauf en cas de maladie.

4.1.2 Au niveau cognitif

Le système cognitif est l'ensemble des processeurs mentaux en rapport avec la connaissance au niveau cérébral. On y retrouve aussi la mémoire, le raisonnement, l'apprentissage, les émotions ou encore la créativité.

4.1.2.1 Intelligence émotionnelle

Les émotions sont un comportement physiologique et caractéristique d'une conscience. Il existe une pléthore d'émotions, mais les deux principales sont l'amour et la peur. De cela découle la joie, la tristesse, la colère, la frustration et bien d'autres encore. Ces émotions jouent un rôle majeur dans notre processus de décision.

4.1.3 Au niveau spirituel

L'esprit est notre raison d'être et dispose d'une grande autonomie et d'une totale liberté. Il est lié aux émotions, aux besoins, et possède différentes qualités comme l'intelligence ou l'imagination.

Quant à l'âme, c'est notre partie « divine » qui nous anime. L'âme est la conscience absolue, la sagesse, celle qui maintient l'énergie et le corps en vie. Ce véhicule du monde physique permet néanmoins à l'esprit de découvrir l'extérieur grâce aux différents sens³⁸.

³⁸ La vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût

4.2 Notion d'appartenance au travail

Il m'est important d'étudier l'importance d'avoir un travail pour le collaborateur. C'est pourquoi, j'ai donc analysé au niveau psychologique la notion d'appartenance et tout ce qui s'y reflète.

Le sentiment d'appartenance constitue notre identité. La majorité des événements significatifs se compose d'échanges avec nos semblables. L'adhésion à des groupes sociaux³⁹ alimente notre besoin d'appartenance et les fréquentations avec d'autres humains aident à nous construire. Cela permet notamment de partager ses valeurs et ses croyances. Il est donc primordial d'avoir un sentiment d'intégration au travail.

L'Homme a besoin de reconnaissance au travail sur ce qu'il fait et pourquoi il le fait. Cette « utilité » l'amène à chercher, à comprendre et à contribuer pour quelque chose. Il a besoin des autres pour évoluer et c'est la principale raison de pourquoi l'humain travaille en équipe. Le sens du travail n'est plus celui de l'effort, mais celui de remplir une fonction.

Il va de soi que la robotique impacte la notion d'appartenance et d'utilité au travail et il faut réussir à ne pas déstabiliser le collaborateur sur cet aspect.

4.3 Intelligence collective

L'être humain a besoin de travailler en équipe et de se sentir adhérer dans une entreprise. Il existe un terme utilisé pour l'association de ces deux points : l'intelligence collective.

La réussite d'une entreprise est la capacité que les employés ont à collaborer ensemble. En effet, ce sont les capacités cognitives d'une équipe résultant d'interactions et de synergie. Cette collaboration peut se faire par équipe humaine, mais aussi entre humains et robots collaboratifs. Le but est d'arriver à une osmose entre les deux intelligences comme la figure ci-dessous.

N'ayant pas la même composition que les humains, les robots permettent d'effectuer des tâches pouvant se révéler nocifs ou dangereux pour les humains. Ce sont dans ces domaines-là que la collaboration humain-robot est la plus importante.

Figure 18 - Human and robots



(Humanoides, 2016)

³⁹ Qu'ils soient familiaux, personnels ou professionnels

4.4 Bilan

Dans cette partie, nous avons conscience de ce qui rend unique l'Homme, non seulement en entreprise, mais aussi dans la société actuelle. La créativité ou l'intuition font que l'humain est nécessaire dans les entreprises d'aujourd'hui, devenues complexes et agiles. Le robot possède de nombreuses qualités similaires à l'humain, mais la notion de conscience révèle que ce dernier ne sera *jamais* un humain.

L'angoisse envers le robot est principalement liée aux modèles mentaux tirés de la science-fiction, ce qui crée cette peur du risque de se retrouver attaqué par un « artefact humain » et met une distance entre les deux types d'intelligences.

Différents sociologues m'ont donné leur point de vue à ce propos. L'humain a besoin de se sentir utile au travail. Dès lors, si une entreprise devient totalement robotisée avec très peu d'employés, le collaborateur possède cette crainte d'être remplacé à cause de son employabilité et le sentiment d'inclusion perd tout son sens.

D'après les différents interviewés, tout le monde aura sa place de créer et de partager dans le monde de demain, car le travail comme on le connaît va être modifié. Il sera réduit et plus locale. Les robots sont une étape vers le changement dans ce monde, comme les technologies ou plus globalement l'industrie 4.0 et sa virtuosité.

Néanmoins, les entreprises doivent savoir amener la partie robotisée envers les employés, grâce à une réorganisation du travail ou une formation. La communication directe devient cruciale en cette industrie 4.0 qui pourtant, elle, est virtuelle. Il est vrai que le sentiment d'un collaborateur qui travaille avec un robot va manquer de perception humaine ou charnelle, mais c'est une question d'adaptation et la froideur des robots est un jugement de méconnaissance.

Selon le centre SIHH⁴⁰, l'entreprise doit accepter le changement et intégrer tous les services afin de comprendre les nouvelles technologies, mais aussi ses limites. De plus, certains termes utilisés, comme « la prise de décision » ou « l'autonomie », ne signifient pas la même chose entre une intelligence artificielle et la nôtre.

⁴⁰ Swiss Integrative for Human Health

5. Les entreprises dans cette « robolution »

Après avoir étudié les parties antérieures grâce aux recherches théoriques et pratiques, nous devons évaluer le changement et la mentalité des entreprises *se transformant*. C'est pourquoi, nous allons étudier des outils utilisés dans cette révolution ainsi que certaines entreprises sur le territoire suisse. Vous trouverez en annexe 7 un rappel simplifié de la robotique en entreprise au format SWOT⁴¹.

5.1 Valeur ajoutée et employabilité

Max BLANCHET, dans son livre « *Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique* » compare l'évolution de la valeur ajoutée ainsi que l'évolution de l'emploi dans l'industrie sur 14 ans. J'ai choisi comme exemple trois pays tirés de son analyse, car ce sont de bons représentants des différentes possibilités qu'ont les entreprises pour s'adapter ou non au changement.

Nous constatons sur l'annexe 8, qu'entre 2000 et 2014, l'Allemagne a augmenté sa valeur ajoutée de 31%, par rapport à la France qui a baissé de 4%. Cela s'explique par le fait que l'Allemagne est pionnière de la robotisation en Europe et que la France a beaucoup de difficultés à s'y convertir. Néanmoins, l'un des précurseurs de cette robotisation est la Chine qui, quant à elle, a vu sa valeur ajoutée monter de 459%.

L'annexe 9 compare l'employabilité⁴² durant cette même période. L'Allemagne, malgré sa transformation, a subi une légère baisse de 9%, contrairement à la France qui chute de 20%. La Chine reste positive avec plus de 43%. En résumé, la robotisation permet de maintenir voire d'améliorer le taux d'employabilité, comme nous pouvons le constater avec la Chine, et la baisse pour l'Allemagne est certainement due à d'autres facteurs.

En comparaison avec 2017, l'OCDE⁴³ a exprimé la valeur ajoutée de ces mêmes pays (cf. annexes 10 à 13). Nous constatons une légère hausse pour la France. Cette dernière s'explique par le fait que ces entreprises ont commencé leur mutation en industrie 4.0. Néanmoins, le chômage continue à baisser en Allemagne avec un taux de 3.7% de la population active, alors qu'en France, il est toujours très haut avec 9.4% de la population active. Quant à la Chine, aucune donnée n'a été exprimée depuis deux ans. En somme, les entreprises qui effectuent une modernisation de leur production souffrent moins de la compétitivité et de la productivité de leurs concurrents.

⁴¹ Diagnostic interne (forces et faiblesses) et externes (opportunités et menaces)

⁴² Conservation de l'emploi (à l'inverse du chômage)

⁴³ L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques

5.2 Principales théories sur l'organisation du travail

Il est important de comprendre également que l'organisation du travail est bouleversée par ce changement comme nous avons pu le constater dans le chapitre 2.5.2.

Comme vous pouvez l'observer dans l'annexe 14, nous sommes passés d'un modèle d'entreprise hiérarchisé, divisionnel avec des décisions centralisées et une approche rationnelle afin de produire efficacement, à une société plutôt organisée et transversale, avec une relation basée sur la confiance et organisée en groupe.

5.2.1 Organisation de l'entreprise de demain

Il est nécessaire d'étudier le fonctionnement de l'entreprise de demain afin de mieux appréhender toute l'importante qu'auront les robots et les nouvelles technologies.

Elle possédera une logistique 4.0, avec un accès total au *Big Data*, qui permettra d'obtenir et de faire fonctionner les systèmes avancés de production. Tout cela sera accompagné d'une cybersécurité, de nouvelles technologies et alimenté par des ressources futures où chaque maillon de la chaîne sera interconnecté aux autres. Favoriser et maîtriser l'innovation permettra à l'entreprise de maintenir un avantage concurrentiel, anticiper les changements, augmenter la valeur de l'entreprise et renforcer son image. Il faut pour cela que l'entreprise ose modifier ses habitudes et mobiliser les ressources afin d'innover (cf. annexe 15).

5.3 Lean management et innovation

La transformation de l'entreprise concerne beaucoup de fonctions autres que la production, comme les ressources humaines, la recherche et développement ou même la finance. Il est donc important de connaître les outils ou les méthodes existantes comme la roue de Deming, le diagramme d'Ishikawa ou encore le Lean management. Ce dernier est aujourd'hui utilisé comme principal outil de transformation pour une entreprise qui se digitalise.

Le Lean management⁴⁴ est un système visant à satisfaire le client grâce à une valeur ajoutée maximale, de manière rapide, à un moindre coût, tout en utilisant les ressources de manière optimale. C'est une approche systémique d'amélioration des processus.

Cette approche repose sur trois points : les outils, le système de management et l'état d'esprit. Le Lean ne s'effectue pas que dans la production⁴⁵ mais, aussi au niveau des services ; on parle dès lors de *Lean Office*.

⁴⁴ Apparue durant la 2^{ème} guerre mondiale

⁴⁵ *Lean Manufacturing (ang.)*

Cette méthode doit être une volonté commune et non une obligation de l'entreprise. Pour cela, il faut « penser au plus juste »⁴⁶ et installer le Lean à tous les niveaux hiérarchiques (cf. annexe 16). Il existe une multitude d'outils opérationnels qui seront aussi développés dans l'annexe 16.

Les ressources sont principalement humaines, puis matérielles et ensuite financières. En effet, les collaborateurs sont au cœur du changement puisqu'ils sont le moteur de l'entreprise grâce à leur motivation, leurs compétences et leur savoir-faire.

Le tableau ci-dessous, tiré du livre « *Lean Management* » de Christian HOHMANN, résume les différenciations entre une entreprise qui s'est transformée à une entreprise traditionnelle selon différents critères.

Tableau 1 - Difference between two Businesses (Lean)

THÈMES	ENTREPRISE NON LEAN	ENTREPRISE LEAN
RELATION	Confrontation, opposition	Coopération, confiance
MANAGEMENT	Centralisation, contrôle	Décentralisation, délégation
COMPLEXITÉ	Hiérarchisation	Transversalité
PRISE EN COMPTE CLIENT	Conviction d'acheter	Ecoute
MAÎTRISE QUALITÉ	Priorité production	Faire bien du premier coup
MAÎTRISE CAPACITÉ	Stock, gaspillage	Exploitation optimale
FLUX	Poussé	Tiré
TAILLE LOTS	Grande	Petite, unitaire
FLEXIBILITÉ	Grande série, spécialisation	Lissage, polyvalence
INSTALLATION	Peu de logique, homogène	Standard précis, management visuel
ORGANISATION PRODUCTION	Ligne automatisée, peu de main d'œuvre	Cellule autonome, main d'œuvre privilégiée

(Christian Hohmann 2012, *Lean Management*)

Nous pouvons constater tous les bienfaits de cette approche. Différents points, comme l'organisation de la production, le management ou la flexibilité, démontrent que les robots ne sont pas utilisés dans une production en grande série et que l'humain est privilégié dans l'approche Lean.

⁴⁶ *Lean Thinking* (ang.)

5.3.1 Chiffres sur l'innovation en industrie 4.0

La robotique est une innovation incrémentale car elle permet d'améliorer les processus existants. Ce n'est pas tant le temps, la taille ou le nombre de collaborateurs qui impactent l'innovation, mais plutôt la volonté de changer ses habitudes. Pour cela, il faut avoir recours à la créativité, ce que peu d'entreprises font (40%).

Uniquement 15% des entreprises effectuent systématiquement des actions de veille stratégique, alors que justement, ceux qui l'effectuent ont un taux de transformation de plus de 45%. Néanmoins, 39% se disent effectuer une veille passive.

Inspiré du document « Capacité à innover des entreprises romandes, étude 2017 »

5.4 Exemple d'entreprises qui ont robotisé à Genève

Mon souhait est de rencontrer des entreprises importantes sur le territoire genevois et de demander leur avis sur la robotisation, la place de l'humain ainsi que les méthodes de transformation. En annexe 17, vous trouverez le questionnaire que je leur ai soumis.

Beaucoup d'entreprises ont refusé de collaborer sur cette problématique pour des raisons de confidentialité. En effet, que ce soit les responsables de production ou les ressources humaines, l'actualité de cette transformation et ses différentes mutations dans les services ne permet pas de communiquer à l'externe les informations pour ne pas dévoiler leur technologie ou le bon fonctionnement de l'entreprise. J'ai néanmoins obtenu quelques informations sur les entreprises grâce à certains de leurs collaborateurs.

5.4.1 ABB (entreprise leader dans la technologie et l'automatisation)

L'entreprise explique que cela fait plusieurs décennies que « *la robotisation est présente dans les secteurs* ». Les robots possèdent de nombreuses qualités que l'on ne peut nier par rapport aux compétences humaines (cf. point 3.5.1). Néanmoins, ils sont complémentaires et n'ont aucunement le but de détruire la place des humains en prenant totalement leur travail, parce que ces derniers possèdent des *softskills* qu'aucune intelligence artificielle ne pourra concurrencer. Généralement, d'après ABB, « *très peu d'entreprises en Suisse ont subi des licenciements après avoir robotisé une partie d'un service* ». Les collaborateurs sont « *plutôt satisfaits d'avoir une aide* » dans les tâches difficiles et peuvent consacrer du temps à des activités plus intéressantes. ABB connaît depuis longtemps la notion d'industrie 4.0 ; le Lean ou encore le MES⁴⁷ sont des outils

⁴⁷ Manufacturing Execution System

utilisés dans l'entreprise. Le but de cette industrie robotisée « *serait d'arriver à créer des équipes mixtes, entre humains et robots* ».

5.4.2 ROLEX (entreprise de montres de luxe)

« *L'humain est celui qui assemble la montre et non le robot, c'est ce qui fait le luxe de ROLEX* ». L'entreprise suit de très près les nouvelles technologies mêmes si elles peuvent être accessibles par les concurrents, mais ce sont les compétences humaines qui les différencient. La robotique, qui s'est fortement développée ces dernières années, est présente principalement dans la production mais « *impacte aussi les autres services comme le stockage qui est totalement automatisé* ». Pour ce dernier service, c'est le stockage de pièces, mais pas de montres, car ROLEX « *ne possède pas de stock au niveau des produits finis* ». Toutefois, l'entreprise replace les collaborateurs et ne licencie pas ou peu et elle possède un ressenti positif de la part des employés quant aux robots, malgré qu'ils n'aient pas réellement le choix. L'établissement possède déjà des outils comme le 6 Sigma, 8D, AMDEC ou encore Pareto. Selon eux, il faut « *passer d'une maintenance corrective⁴⁸ à préventive⁴⁹* ». Toutefois, l'entreprise possède une structure très hiérarchique, certes nécessaire pour maintenir une certaine rigueur dans les processus, n'offrant que peu de liberté aux collaborateurs.

5.4.3 SIG (entreprise de services)⁵⁰

Les SIG possèdent depuis de nombreuses années des métiers automatisés notamment dans la distribution d'eau potable. La robotique « *permet d'améliorer la rentabilité de l'entreprise et de s'adapter au monde de demain sans pour autant enlever la réflexion et la stratégie qui revient aux humains* ». La place du collaborateur est cruciale, puisque malgré la digitalisation, « *c'est le contact humain qui fournira la réelle valeur de l'entreprise* ». Les SIG ont mis en place le projet « EquiLibre » depuis quelques années. La numérisation des outils, la confiance et l'autonomie des collaborateurs font que ce projet rentre dans la stratégie globale de l'entreprise. De plus, elle a mis en place un laboratoire d'idées novatrices appelé « la Transfo » qui est issue du *Lean thinking* et permet aux collaborateurs de « *s'intégrer et de proposer des innovations* ». Néanmoins, certains collaborateurs estiment que les bonnes idées sont freinées par « *les mentalités fermées de certains dirigeants* ». L'entreprise a choisi en 2018 une adaptation de son environnement de travail et, grâce à EquiLibre, « *la structure va devenir peu à peu horizontale* ».

⁴⁸ Maintenance exécutée après détection d'une anomalie dans l'équipement

⁴⁹ Maintenances périodiques pour prévenir d'un risque de défaillance d'un équipement

⁵⁰ Services Industriels de Genève liés à la distribution d'eau, d'électricité et de gaz

5.4.4 HUG (centre hospitalier)⁵¹

La robotique hospitalière « *a permis d'énormes progrès en médecine* ». Le personnel est toujours présent, mais de nombreux diagnostics sont effectués grâce à des ordinateurs. Tout de même, « *malgré que ce soit informatisé, c'est le médecin qui estime si nous pouvons être en accord* » avec le résultat de la machine. De plus, le robot *DaVinci* permet d'accompagner le chirurgien dans son opération grâce à sa grande mobilité, la précision et la qualité de sa vision en trois dimensions. Les HUG ont un projet appelé « *vision 20/20* » qui est de rendre l'hôpital plus humain ; « *c'est diminuer les procédures et l'administration des patients pour consacrer plus de temps à la médecine* ». De plus, afin de réussir leur stratégie, elle souhaite « *faire participer les parties prenantes* » dans la systémie de l'entreprise. L'entreprise instaure le Lean sur différentes divisions de l'hôpital afin de réduire les taux d'erreurs et le stockage au niveau des médicaments. Le but principal de cet outil est d'améliorer l'approche sociale « *mais au détriment du travail en équipe et de l'empathie* ». La structure publique hiérarchique des HUG démontre quelques incohérences dans leur projet d'amélioration.

5.5 Les PME⁵² dans l'industrie 4.0

Lors de la conférence « *l'industrie 4.0 est-elle une chance ou un danger pour les PME ?* » au salon international de la haute précision, beaucoup d'intervenants font mention du Lean non pas comme transformation de l'entreprise, mais comme l'un des principaux outils de la mutation. Pour cela, il faut adopter la bonne attitude face à l'émergence de nouvelles technologies, mesurer l'importance et les possibilités qu'offre le changement en 4.0. Cependant, il faut se séparer de ce protectionnisme que possèdent la plupart des PME en Suisse et privilégier la transparence, afin de comprendre sa chaîne de valeur et créer un vrai écosystème.

Frédéric DREYER⁵³ explique « *qu'il ne faut pas s'adapter, mais se transformer* ».

⁵¹ Hôpitaux Universitaires de Genève comprenant 8 hôpitaux et 2 cliniques

⁵² Petites et Moyennes Entreprises

⁵³ Directeur de l'Office de la Promotion des Industries et technologies (OPI)

5.6 Bilan

La mise en œuvre du Lean dans la robotique constituera en l'utilisation de nouveaux outils peu à peu, de manières modulaires et par zone, afin d'impliquer les collaborateurs et les machines, et ainsi préserver leur flexibilité et une standardisation des interfaces. Concernant les robots collaboratifs, ce sont des avancées encore restreintes mais ces robots permettent de compléter le parc robots en associant cartésien⁵⁴ et collaboratif.

Grâce aux différents outils et aux stratégies qu'elles s'imposent, ces entreprises voient clairement l'évolution et les bienfaits de la robotisation. Pour toutes, une collaboration est totalement envisageable puisque les robots ne sont pas là pour prendre la place du collaborateur, mais pour les accompagner dans leurs tâches. Les humains possèdent des qualités uniques qui font qu'une entreprise se différencie et apporte une plus-value sur le marché. Toutes ces entreprises suivent les évolutions technologiques, investissent dans les nouveautés et prennent en compte les parties prenantes (cf. annexe 18). Néanmoins, malgré leur avancée, beaucoup d'entre elles souffrent d'une organisation non-transversale et d'un modèle taylorien ce qui les freine dans leur mutation et leur innovation.

Ces entreprises ont aussi d'autres méthodes qui complètent le Lean, comme le *Manufacturing Execution System* (MES), qui est un système permettant de collecter les données de production en temps réel, le *Product Lifecycle Management* (PLM) qui définit une approche pour optimiser les processus industriels ou encore la gestion de la production assistée par ordinateur (GPAO) qui est un gestionnaire de l'ensemble des activités dans la production. En annexe 19, vous trouverez les outils complémentaires encore utilisés aujourd'hui.

Selon les différentes entreprises, les compétences de demain devront être en lien avec le numérique et proposer des formations continues aux collaborateurs. Pour ces derniers, ils devront être polyvalents, agiles et proactifs.

L'OIT ajoute que

« Les tendances actuelles indiquent que le développement de robots centrés sur l'humain et sur la collaboration homme-machine tend à accroître la productivité des travailleurs hautement qualifiés, plutôt qu'à les remplacer »

(Organisation Internationale du Travail 2016, étude « ASEAN en pleine transformation »)

⁵⁴ Correspond aux robots industriels ayant une cellule

Recommandations

Maintenant que nous avons pu observer les précédentes phases, je me permets de vous donner ma perception des choses et, pour cela, j'ai opté pour diviser les recommandations en quatre catégories avec différentes durées : à court terme (d'ici 2020), à moyen terme (d'ici 2025) et à long terme (d'ici 2030 et plus).

Partie financière

Sujet sur lequel les entreprises se sont très peu exprimées, le côté financier de la robotique est un sujet délicat. **A court terme**, l'investissement pour robotiser une partie d'un service reste conséquent mais largement rentable. En effet, le ROI⁵⁵ vous est rapidement positif puisque les robots ont un coût unique, contrairement aux collaborateurs qui possèdent des salaires, des assurances et d'autres charges sociales, ce qui rend le capital humain très cher. De plus, le fait qu'un robot produise plus qu'un humain à qualité égale fait que vous pouvez vendre plus de produits et obtenir de meilleurs rendements. Il ne faut néanmoins pas négliger ce qui touche un robot, comme la programmation ou la maintenance, afin de vous éviter une panne ou un accident pouvant se révéler onéreux. **A moyen terme**, le marché de la robotique industrielle va énormément progresser, ce qui va mettre en lumière un monde d'investissement riche en opportunités et vous poussera à focaliser vos investissements dans ce secteur en pleine croissance. D'autres investissements liés à la transformation dans ce monde numérique, auront aussi lieu et vous ne devrez pas les épargner⁵⁶ tout comme la maintenance qui ne sera plus préventive mais prédictive. Cela va aussi permettre de maintenir l'emploi au niveau national, car vous préférerez relocaliser votre production et privilégier l'automatisation avec une main d'œuvre polycompétente, plutôt qu'une main d'œuvre faible en coût et en qualité dans des régions comme l'Asie. Tout de même, l'Etat devra s'en mêler en mettant en place une taxation des robots afin de limiter une distorsion sur le marché du travail⁵⁷. **A long terme**, difficile d'imaginer un monde où le numérique ne soit pas omniprésent avec une robotique encore moins coûteuse.

Partie technique

Les robots industriels sont devenus plus simples à programmer que d'antan. **D'ici 2020**, ils ne vont pas cesser d'augmenter et de s'installer dans les services les plus prisés de votre entreprise, comme la production, mais resteront codifiés et posséderont un

⁵⁵ *Return of investissement (ang.)*

⁵⁶ Par exemple : opérateurs, informaticiens (base de données, connexion machines, protection réseau), ingénieurs (programmation, outillage, maintenance), ...

⁵⁷ Taxation universelle des robots pour ne pas désavantager compétitivement un pays

apprentissage supervisé par vos collaborateurs. Néanmoins, **d'ici 2025**, grâce aux progrès technologiques, l'acceptabilité des robots sera fortement acquise par la société ayant pris l'habitude d'en côtoyer. L'intelligence artificielle et le *Deep Learning* continueront leur essor dans beaucoup de domaines et permettront des avancées que personne ne peut aujourd'hui. De plus en plus de machines seront connectées, reprogrammées et redéployées dans la plupart de vos services. D'autres technologies réduiront le poids et les limites d'un robot⁵⁸ ce qui poussera ses compétences techniques à se développer fortement et à rendre l'IA et le robot indispensable dans l'usine de demain. Cependant, vu l'importance du numérique, vous redouterez des cyberattaques ou des contrôles à distance des machines peuvent se révéler dangereux pour la société. D'autres problèmes pourront survenir du côté de la surveillance, de l'éthique ou encore de la transparence des robots. **A compter de 2030**, les robots continueront à s'installer dans des métiers qui n'étaient traditionnellement réservés qu'aux humains⁵⁹. L'IA devra être similaire à l'intelligence humaine et capable d'effectuer des tâches qu'un humain accomplit, mais en aucun cas elle ne pourra rédiger vos stratégies ou diriger vos services, car l'innovation ne peut être allouée que par un être humain⁶⁰. Cette dernière restera une aide pour interagir avec le robot, sans passer par des intermédiaires comme un contrôleur, et permettre une fluidité dans le travail avec une programmation naturelle et une réelle collaboration sans frontière ni racisme entre machines et humains.

Partie humaine

Les robots ne sont pas les seuls à évoluer ; le collaborateur doit aussi changer sa vision quant aux avancées technologiques. **A court terme**, il est tout à fait possible que vos choix risquent d'impacter le marché du travail, en ne renouvelant pas les postes dans certains services, mais en aucun cas le licenciement et justifiable si vous préconisez une robotisation. Certes des problèmes au niveau du sentiment d'appartenance et de l'acceptation des robots risquent de déstabiliser les humains, mais un temps d'adaptation sera nécessaire. La peur du changement selon le genre, l'âge ou l'expérience sera vécue différemment par la personne. La synergie entre la robotique et le high-tech feront **qu'à moyen terme** l'humain aura accès en tout temps à des outils connectés et intelligents. La robotique collaborative apportera de nouvelles possibilités pour votre collaborateur d'évoluer avec son cobot, car pendant que le robot effectue les

⁵⁸ Par exemple : capteurs de détection, système de repositionnement, vision embarquée, préhenseur modifiables, barrières de sécurité inexistantes, possibilités de mouvements, ...

⁵⁹ Comme l'enseignement, l'armée, la restauration, le sport ou encore les transports

⁶⁰ Du moins tant que nous ne saurons pas capable de réunir des bases de données lucides sur des avis d'utilisateurs en très grand nombre afin de trouver une solution « parfaite », alors qu'un groupe d'humain est restreint à ce niveau

tâches répétitives, l'humain améliore ses capacités. Il se peut même que la robotique baisse le taux d'absentéisme au travail et procure une satisfaction, physique ou mentale, pour votre salarié. Vous devrez accompagner le collaborateur et opter pour développer des compétences dites « techno-humaines » afin d'installer une confiance entre l'humain et le robot et d'intégrer les deux pour créer cette notion d'appartenance. La gestion des talents sera importante dans votre entreprise car elle permet d'améliorer la mobilité, la capacité à innover et l'optimisation des performances des collaborateurs. Des investissements dans le numérique, mais aussi dans les formations desdits collaborateurs devront également être proposés. Ces modifications seront compensées **à long terme** par des retombées positives comme le démontre les anciennes révolutions industrielles où l'humain a su s'adapter. Il est même possible que l'IA et les technologies de l'avenir créent plus d'emplois qu'elles n'en détruisent, avec en plus une amélioration de la qualité de vie pour l'humain, comme le souhaite le mouvement transhumaniste⁶¹. Quant au numérique, il sera ubiquiste et en contact direct avec les humains. Pour faciliter cette acceptation, vous pourrez travailler sur l'aspect social des robots avec des interactions naturelles, voir même un physique similaire à un humain.

Partie organisationnelle

Cette partie représente un réel problème pour les entreprises. **Demain**, les grandes firmes seront dans une optique de transformation plutôt lente et se situeront dans une révolution 3.5 et non 4.0, car leur système est fermé rendant les caractéristiques de l'industrie 4.0 étudiées mais non mises en place. Les PME, contrairement aux grandes, peuvent plus facilement opter pour une transformation globale et rapide afin de suivre les tendances, car leur système est bien plus ouvert et transparent. Le problème de la transformation n'est pas la volonté de changer, mais la peur du changement. En effet, la notion de culture d'entreprise⁶² fait qu'une entreprise souhaite rester avec ce qui la caractérise au mieux, la distingue des autres et assure un concept d'appartenance à ses collaborateurs, au lieu d'expérimenter des nouveautés qui peuvent se révéler compromettantes. Cependant, il faut que vous privilégiez des outils de transformation comme le Lean Management qui ont déjà fait leurs preuves. **Dans quelques années**, grâce à la numérisation de l'entreprise, une culture d'apprentissage permettra d'actualiser les compétences métiers qui seront accompagnées de compétences numériques. La standardisation des processus ainsi que le partage de données dans vos services amélioreront l'exploitation des ressources et rendront votre entreprise plus

⁶¹ Usage de sciences et de techniques pour améliorer l'humain dans ses capacités physiques ou mentales

⁶² Ensemble de connaissances, comportements ou valeurs. Cela peut être : histoire, symbole, croyance, valeur, méthode, ...

transversale. De nouveaux métiers comme un *chief digital officier* assureront tout ce qui touche le numérique, et le secteur R&D sera un de vos défi majeur dans quelques années. Les entreprises possédant une structure taylorienne seront dès lors avec une structure en réseau⁶³, ce qui fluidifiera les données, le partage de connaissances et unifiera les différents services. **Dans une dizaine d'années**, de nouvelles compétences feront leur apparition et vos employés seront dans une nouvelle organisation appelée « cyberentreprise » (ou industrie 5.0). En effet, ils ne seront plus obligés de travailler dans des locaux physiques, puisque les modems connectés à votre entreprise disperseront vos collaborateurs dans le temps et l'espace en dissolvant la notion de frontières. L'intégration des collaborateurs sera plus difficile et votre organisation se devra d'être agile et apprenante. Vous devrez vous adapter en permanence à votre écosystème, notamment par le biais de stratégies ou d'expérimentations aussi pour vous démarquer de l'intensité concurrentielle qui sera homogène à cause des similitudes d'automatisation.

... Et pour finir

Pourquoi les robots ne feraient-ils pas le travail à notre place ? Nous pourrions envisager que les machines travaillent à notre compte et nous serions plus oisifs. Le seul problème est que dans notre modèle de société, le travail permet de gagner de l'argent. Si un nouveau monde avec un système coopératif⁶⁴ s'adaptait aux technologies et aux besoins des humains, peut-être que la collaboration et le travail possèderaient une tout autre signification.

Les tâches routinières ne veulent pas forcément dire que le collaborateur doit être peu qualifié. Beaucoup de métiers nécessitent encore des gestes humains car les robots sont incapables de les reproduire. Il faut également comprendre que la plus grande peur de l'humain n'est pas la machine en tant que tel, mais l'intelligence qu'elle possèdera. Il vaut mieux aider les personnes à se réallouer dans d'autres métiers que d'empêcher la mise en place des technologies. Etant donné que l'humain sera entouré de robots dans l'avenir, peut-être que vivre pour travailler sera transformé en vivre de manière hédoniste⁶⁵, car « si une machine peut faire mon travail, c'est que je fais le travail d'une machine ».

⁶³ Structure plutôt virtuelle et organisée d'entreprises qui unissent leurs connaissances et leur compétence dans une collaboration

⁶⁴ Par exemple un revenu de base universelle, une taxation universelle, ...

⁶⁵ Philosophie sur laquelle le but de la vie repose sur le plaisir

Conclusion

Pour conclure, il faut prioriser les points soulevés précédemment. D'abord, l'humain est essentiel dans le monde de demain malgré le fait que les avancées technologiques améliorent la technique des robots et permettent d'optimiser les entreprises. Comme le révèle la 4^{ème} révolution industrielle, la société doit se transformer pour faire face dans ce monde volatile et complexe, notamment par le biais de moyens financiers et organisationnels.

Je suis très heureuse de mes recherches et d'avoir réussi à répondre à cette problématique grâce à la méthodologie appliquée. Ce sujet me passionne, car le monde de demain est numérique et il faut le comprendre ainsi que l'accepter pour proposer des solutions. Certes, **une collaboration est envisageable entre un humain et un robot dans cette industrie 4.0**, mais il ne faut pas négliger les aspects humains.

Je vous propose une réflexion plus poussée par rapport à mon sujet :

- Un robot modifié de manière malveillante pourra-t-il se transformer en véritable arme pour l'Homme ? L'implantation ou la connexion de l'humain dans le numérique seront-elles dangereuses ? Le transhumanisme⁶⁶ rendra-t-il un humain modifié plus ou moins identique aux capacités des robots actuels ?
- L'intelligence artificielle primera-t-elle dans les entreprises grâce à un réseau neuronal identique à celui du génie humain, et pourra-t-elle proposer des décisions grâce à des grandes bases de données mondiales ou des algorithmes quantiques ? Un diagnostic ou un travail effectué par une intelligence artificielle sera-t-elle remise en cause par un humain ?
- La notion d'appartenance demeurera-t-elle identique si le monde est peuplé de robots humanoïdes ? Les robots industriels ou de services pourront-ils ressembler à des humains, ce qui permettrait une intégration plus rapide de la part des collaborateurs, mais aussi des robots ?

⁶⁶ Ensemble de techniques afin d'améliorer les capacités humaines

Bibliographie

- ABB, 2018. YuMi® - Construisons ensemble l'automatisation du futur. *You and me*. In : [en ligne]. [Consulté le 9 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://new.abb.com/products/robotics/fr/robots-industriels/yumi>.
- AÏM, Roger, 2015. *L'essentiel de la théorie des organisations*. 8ème édition. France. ISBN 978-2-297-04786-9.
- ALPAYDIN, Ethem, 2016. *Machine learning*. MIT Press. UK. ISBN 978-0-262-52951-8.
- ALTERNATIVES ECONOMIQUES., 2012. *Qu'est ce qu'une révolution industrielle ?* [en ligne]. mai 2012. Vol. Hors-Série, n° 93. [Consulté le 17 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.alternatives-economiques.fr/quest-quune-revolution-industrielle/00060323>.
- ANDROIDWORLD.COM, *Historical Android Projects*. [en ligne]. [Consulté le 7 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.androidworld.com/prod06.htm>.
- ANDRES, Camille et DELAYE, Fabrice, 2017. *A quels métiers faut-il se préparer ?* In : Bilan. [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.bilan.ch/economie-plus-de-redaction/a-metiers-faut-se-preparer>.
- ANON., 2015. *La révolution industrielle sonne les trois coups*. In : les toutes premières fois [en ligne]. 2015. [Consulté le 26 février 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.les-toutes-premieres-fois.com/5-les-temps-modernes/la-revolution-industrielle-sonne-les-trois-coups>.
- BABIC, Marc, 2017. *Industrie 4.0 et Lean Management* [en ligne]. Youtube. [Consulté le 2 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=1SMTAE47cAI>.
- BELCADHI, Feriel, 2017. *L'usine du futur: la mécatrologie comme méthode de numérisation des process industriels*. In : Usine Nouvelle. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.usinenouvelle.com/expo/guides-d-achat/l-usine-du-futur-la-mecatrologie-1170>.
- BENOIT-GODET, Stéphane. *La quatrième révolution industrielle bouleverse notre société dans ses fondements*. In : Le Temps. [en ligne]. [Consulté le 26 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.letemps.ch/economie/klaus-schwab-quatrieme-revolution-industrielle-bouleverse-societe-fondements>.
- BERROD, Emmanuel, 2016. *Contrairement aux idées reçues, les robots ne remplacent pas les travailleurs qualifiés, selon l'OIT*. In : [en ligne]. [Consulté le 11 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://news.un.org/fr/story/2016/07/339042-contrairement-aux-idees-recues-les-robots-ne-remplacent-pas-les-travailleurs>
- BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, DÉPARTEMENT SCIENCES ET TECHNIQUES. *Robots, robotique et intelligence artificielle*. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.bnf.fr/documents/biblio_robots.pdf.
- BLANCHET, Max, 2016. *Industrie 4.0: Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique*. Lignes de repères. France. ISBN 978-2-36609-031-4.
- BLANCHETON, Bertrand, 2016. *Histoire des faits économiques: De la Révolution industrielle à nos jours*. Dunod. Malakoff. ISBN 978-2-10-076087-9.
- BRIGHTON, Henry et SELINA, Howard, 2016. *L'intelligence artificielle en images*. EDP Sciences. France. ISBN 978-2-7598-1772-6.
- BUDRY CARBO, Adria et PECA, Servan, 2017. *La Suisse championne du monde de la robotique*. In : Le Temps. [en ligne]. [Consulté le 12 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.letemps.ch/economie/suisse-championne-monde-robotique>.

BURIDANT, Jérôme, FIGLIUZZI, Arcangelo, MONTOUSSÉ, Marc, NOËL, Gilbert, VASLIN, Jacques-Marie et WAQUET, Isabelle, 2001. *Histoire des faits économiques et problèmes économiques contemporains*. France. ISBN 2-84291-803-7.

BYRNE, Art, 2010. *Le virage lean*. Pearson. France. ISBN 978-2-7440-6623-8.

CLOCHERET, Benoît, 2018. *L'industrie, un secteur d'avenir*. In : La Tribune. [en ligne]. Consulté le 23 février 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.nexis.com/results/enhdocview.do?docLinkInd=true&ersKey=23_T27207068536&format=GNBFI&startDocNo=0&resultsUrlKey=0_T27207068549&backKey=20_T27207068550&csi=234496&docNo=25.

CORTHAY, Simon, 2018. *Un androïde va présenter un journal télévisé au Japon dès le mois d'avril*. In : RTS. [en ligne] [Consulté le 20 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/medias/9449051-un-androide-va-presenter-un-journal-televisé-au-japon-des-le-mois-d-avril.html>.

DIES, Agnès et VÉRILHAC, Thierry, 2010. *La démarche lean*. Afnor. France. ISBN 978-2-12-475600-1.

DORÉ, François, 2015. *Les origines du comportement humain de la culture*. Éditions Multimondes. Québec. ISBN 978-2-89544-496-1.

DURAND, Corentin, 2017. *Selon le MIT, chaque robot introduit sur le marché du travail détruit 6 emplois*. In : [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.numerama.com/politique/245152-selon-le-mit-chaque-robot-introduit-sur-le-marche-du-travail-detruit-6-emplois.html>.

ÉCONOMIE, SCIENCE ET INNOVATION QUÉBEC, 2016. *Industrie 4.0 : origine et définition*. [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/ameliorer/guides-et-outils/page/guides-et-outils-22009/?no_cache=1&tx_igaffichagepages_pi1%5Bmode%5D=single&tx_igaffichagepages_pi1%5BbackPid%5D=17672&tx_igaffichagepages_pi1%5BcurrentCat%5D=&tx_igaffichagepages_pi1%5BparentPid%5D=22006&cHash=191569b83c7c806dbd1b2b91b91f844a.

EDELMAN, Bernard, 2009. *Ni chose ni personne : le corps humain en question*. Editions Hermann. Paris. ISBN 978-2-7056-6875-4.

EDIP, Alexandra, 2017. *Les robots, une chance pour l'homme ?* In : Capital.fr. [en ligne]. [Consulté le 3 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.capital.fr/polemik/les-robots-une-chance-pour-l-homme-1223830>.

ELIAS, Manuel, 2017. *Robotique et intelligence artificielle : il faut que les nouvelles technologies bénéficient à tous, selon l'ONU*. In : [en ligne]. [Consulté le 12 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://news.un.org/fr/story/2017/10/365972-robotique-et-intelligence-artificielle-il-faut-que-les-nouvelles-technologies>.

ENLART, Sandra et CHARBONNIER, Olivier, 2018. *Société digitale, comment rester humain ?* Dunod. Paris. ISBN 978-2-10-077507-1.

EUROGROUP CONSULTING, 2014. *Le numérique : jusqu'ou réinventer les services publics ?* S.I. : Les rencontres de la transformation publique, 6ème édition.

FER GENÈVE, 2018. *Laurent Alexandre conférence Intelligence Artificielle en Suisse* [en ligne]. [Consulté le 19 mars 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=hv50_t2ET_0&app=desktop.

FUTURA SCIENCE, 2012. *Quand a eu lieu la première révolution industrielle*. [en ligne]. 2012. [Consulté le 26 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/epoque-contemporaine-eu-lieu-premiere->

revolution-industrielle-5444/.

GANASCIA, Jean-Gabriel, 2017. *Intelligence artificielle : vers une domination programmée ?* Ed. 2. Le Cavalier Bleu. France. ISBN 979-10-318-0213-8.

GANASCIA, Jean-Gabriel et BRALY, Jean-Philippe, 2017. *Le temps des robots est-il venu ?* Quae. France. ISBN 978-2-7592-2723-5.

GANGLOFF, Jacques. *Cours de Robotique*. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://icube-avr.unistra.fr/fr/images/a/a4/Cours_rob_intro.pdf.

GOLLAPUDI, Sunila, 2016. *Practical machine learning*. Packt Publishing. UK. ISBN 978-1-78439-968-9.

GOODFELLOW, Robin, 2014. *Le marxisme et la révolution industrielle*. In : robingoodfellow [en ligne]. [Consulté le 28 février 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.robingoodfellow.info/pagesfr/rubriques/Revolution_Industrielle.pdf.

GOURÉVITCH, Antoine et RACHIDI, Moundir, 2016. *Les nouvelles méthodes de production de l'industrie 4.0*. [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.itforbusiness.fr/leaders/opinions/item/7796-les-nouvelles-methodes-de-production-de-l-industrie-4-0>.

HAIT, Jean-Francois, 2018. *Jean-Gabriel Ganascia: "La peur de l'intelligence artificielle est infondée"*. In : Sciences et Avenir. [en ligne]. [consulté le 13 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/intelligence-artificielle/jean-gabriel-ganascia-la-peur-de-l-intelligence-artificielle-est-infondee_125861

HEUDIN, Jean-Claude, 2015. *Les 3 lois de la robotique: Faut-il avoir peur des robots ?* S.I. Sciences eBook. ISBN 979-10-91245-07-4.

HEUDIN, Jean-Claude, 2016. *Robot erectus*. S.I. Sciences eBook. ISBN 979-10-91245-00-5.

HOFFSTETTER, Matthieu, 2018. *Michael Dell vante les données et l'interaction homme-machine*. In : Bilan [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.bilan.ch/plus-de-redaction/michael-dell-vante-donnees-linteraction-homme-machine>.

HOHMANN, Christian, 2012. *Lean Management*. Eyrolles. France. ISBN 978-2-212-55381-9.

HOHMANN, Christian. *Usine du futur - Industrie 4.0*. [en ligne]. [Consulté le 20 février 2018 b]. Disponible à l'adresse : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/usine-du-futur>.

HUBERT, Faes, 2011. *Le sens du travail*. Institut Catholique de Paris. Vol. 2011/4, n° 120, p. 202. France. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-transversalites-2011-4-page-25.htm>

HUMANOIDES, 2017. ABB renforce son leadership dans l'automatisation industrielle. In : Humanoides.fr [en ligne]. avril 2017. [Consulté le 27 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://humanoides.fr/abb-automatisation-industrielle/>.

HUMAROBOTICS. *L'interaction Homme-robot*. [en ligne]. [Consulté le 12 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.humarobotics.com/interaction-homme-robot-en-industrie/>.

HUMMLER, Konrad, 2017. *Industrie 4.0: cette fois, c'est vraiment différent ?* In : Bilan. [en ligne]. [Consulté le 3 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.bilan.ch/konrad-hummler/industrie-40-cette-cest-vraiment-different>.

ICHBIAH, Daniel, 2005. *Robots, genèse d'un peuple artificiel*. S.I. Sciences. ISBN 978-2-8307-0789-2.

ICHBIAH, Daniel. *Robotique : qu'est-ce qu'un robot ?* In : Futura Sciences. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/robotique-initier-former-robotique-889/page/3/>.

IFR INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. *Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots*. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018 a]. Disponible à l'adresse : https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf.

IFR INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. *Robot History, Timeline*. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018 b]. Disponible à l'adresse : <https://ifr.org/robot-history>.

ISO 8373:2012. *Robots et composants robotiques*. In : Iso.org. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/fr/standard/55890.html>.

JÄGER, Andreas, SIHN, Wilfried, RANZ, Fabian et HUMMEL, Vera, 2017. *Implication for Learning Factories from Industry 4.0 - Challenges for the human factor in future production scenarios*. S.l. : ESB Business School Reutlinger (Vienna).

JEUNESSE-ET-SCIENCE.BE. *Introduction à la robotique*. [en ligne]. [Consulté le 4 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.jeunesse-et-science.be/sites/default/files/document/esc_84_3_2.pdf.

JOHNSON, Gerry, SCHOLLES, Kevan, WHITTINGTON, Richard, ANGWIN, Duncan, REGNÉ, Patrick et FRÉRY, Frédéric, 2014. *Stratégique*. 10e édition. France : Pearson. ISBN 978-2-326-00042-1.

JUIGNET, Patrick. *Un homme cognitif ?* In : Philosophie, science et société [en ligne]. [Consulté le 28 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://philosciences.com/Pss/philosophie-et-humanite/homme-humain-et-humanite/236-homme-cognitif>.

KELLER, Kevin Lane, 1993. *Conceptualizing, Measuring, and Managing Customer-Based Brand Equity*. In : American Marketing Association [en ligne]. [Consulté le 7 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.jstor.org/stable/1252054?seq=1#page_scan_tab_contents.

KHADKA, Rajesh. *Introduction to Machine Learning #1*. In : Towards Data Science. [en ligne]. [Consulté le 12 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://towardsdatascience.com/machine-learning-65dbd95f1603>.

KIEL, Daniel, ARNOLD, Christian, COLLISI, Matthias et VOIGT, Kai-Ingo, 2016. *The impact of the industrial internet of things on established business models*. [en ligne]. [Consulté le 22 avril 2018]. Disponible à l'adresse : http://iamot2016.org/proceedings/papers/IAMOT_2016_paper_65.pdf.

KIEL, Daniel, MÜLLER, Julian, ARNOLD, Christian et VOIGT, Kai-Ingo, 2017. *Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0*. In : Conference: International Society for Professional Innovation Management [en ligne]. [Consulté le 24 février 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/316684947_Sustainable_Industrial_Value_Creation_Benefits_and_Challenges_of_Industry_4_0_rewarded_with_ISPIM_Best_Student_Paper_Award.

KOHLER, Dorothée, 2017. *Industrie 4.0 : enjeu de transformation de toute notre industrie*. [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.monthly-digest-loreal.com/article/industrie-4-0-enjeu-de-transformation-de-toute-notre-industrie/>.

LARIVEY, Michelle. *Les genres d'émotions*. [en ligne]. [Consulté le 28 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.acsm-ca.qc.ca/assets/28_les_genres_emotions.pdf.

LEFÈVRE, Thierry, 2012. *Une brève histoire de la croissance démographique mondiale*. In : Planète viable [en ligne]. [Consulté le 25 février 2018]. Disponible à l'adresse : <http://planeteviable.org/breve-histoire-croissance-demographique-mondiale/>.

LE MATIN, 2016. *Le Japon comble le Fossé entre l'Homme et le Robot*. [en ligne]. [Consulté le 20 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.lematin.ch/savoirs/sciences/Le-Japon-comble-le-fosse-entre-l-homme-et-le-robot/story/15132371>.

LEMBERGER, Pirmin, BATTY, Marc, MOREL, Médéric et RAFFAËLLI, Jean-Luc, 2016. *Big Data et Machine Learning*. S.l. : Dunod. ISBN 978-2-10-075463-2.

LOMBARD, Jordan, 2014. *Attitudes vis-à-vis des robots: conception d'une échelle de perception d'autonomie de robot*. In : Université de Lorraine (sciences humaines et sociales). [en ligne]. [consulté le 5 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/profile/Jordan_Lombard/publication/280063316_Atitudes_vis-a-vis_des_robots_Conception_d%27une_echelle_de_perception_d%27autonomie_de_robot/links/55a60c9b08ae5e82ab1fd2c0/Attitudes-vis-a-vis-des-robots-Conception-dune-echelle-de-perception-dautonomie-de-robot.pdf

LUXEMBOURG CHAMBER OF COMMERCE. 3ème Révolution Industrielle : 3 minutes pour comprendre [en ligne]. [Consulté le 21 février 2018 a]. Disponible à l'adresse : <http://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/comprendre/3-minutes-pour-comprendre/>.

MAZARS, 2018. *Etude « les dirigeants face à l'industrie 4.0 »*. In : Global Security Magazine [en ligne]. [Consulté le 5 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.globalsecuritymag.fr/Etude-Mazars-Les-dirigeants-face-a,20180702,79597.html>

M & BD CONSULTING, 2017. *Capacité à innover des entreprises romandes*. 2017. PDF.

MOREAU DE BELLAING, Louis, 2010. *Logique intellectuelle, logique empirique, logique scientifique*. In : L'homme et la société. L'Harmattan. Vol. 2010/4, n° 178, p. 121. France. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-l-homme-et-la-societe-2010-4-page-121.htm>

OBERSON, Xavier, 2017. *Vers une taxation des robots ?* In : [en ligne]. [Consulté le 11 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.mcei.ch/robots.html>.

OCDE, 2016. OCDE Données : Valeur ajoutée par activité. [en ligne]. [Consulté le 1 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <https://data.oecd.org/fr/natincome/valeur-ajoutee-par-activite.htm>.

OCDE, 2017. OCDE Données Allemagne. [en ligne]. [Consulté le 30 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://data.oecd.org/fr/Allemagne.htm>.

OCDE, 2017. OCDE Données Chine. [en ligne]. [Consulté le 30 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://data.oecd.org/fr/chine-republique-populaire-de.htm>.

OCDE, 2017. OCDE Données France. [en ligne]. [Consulté le 30 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://data.oecd.org/fr/france.htm>.

ORGANISATION POUR LA CONNAISSANCE. *L'homme est composé d'un esprit, d'une âme et d'un corps*. [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.opc-connaissance.com/homme_vie/corps_esprit_ame.html.

OSHA, UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR, 2018. *Industrial Robots and Robot System Safety*, section IV: Chapter 4. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html.

PALAZZESCHI, Letizia, BUCCI, Ornella et DI FABIO, Annamaria, 2018. *Re-thinking Innovation in Organizations in the Industry 4.0 Scenario: New Challenges in a Primary*

Prevention Perspective. In : *frontiers in psychology* [en ligne]. [Consulté le 24 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5797748/>.

PASCAL, Pierre, 2006a. *Précis d'histoire économique*. France : Ellipses. ISBN 2-7298-2259-3.

PENGAM, Franck, 2018. *Géoéconomie de l'industrie 4.0 et de l'IA*. In : *Transhumanisme et Intelligence Artificielle*. [en ligne]. [Consulté le 5 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://iatranshumanisme.com/2018/06/14/geoeconomie-de-industrie-4-0-et-de-ia/>

PHILIPPE, Laurent, 2013. *L'homme au travail a besoin de se sentir utile*. In : *L'Express*. [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.lexpress.fr/emploi/gestion-carriere/l-homme-au-travail-a-besoin-de-se-sentir-utile-car-il-cherche-a-donner-un-sens-a-ce-qu-il-fait_1217725.html.

PICHÉ, Pierre, 2011. *31 outils simples d'amélioration*. In : *Quotidien Lean Management* [en ligne]. [Consulté le 27 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.quotientmanagement.com/fr/31-outils-simples-amelioration-qualite/>

POISSONNIER, Hugues, 2017. « *Robolution* » : *comment les robots changent nos entreprises*. In : *La Tribune* [en ligne]. [Consulté le 12 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/robolution-comment-les-robots-changent-nos-entreprises-750784.html>.

PONTIER, Aymeric, 2013. *La révolution robotique est en marche*. In : *Contrepoints.org*. [en ligne]. [Consulté le 21 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.contrepoints.org/2013/02/25/116084-la-revolution-robotique-est-en-marche>.

RENOUARD, Guillaume, 2018. *Qui a peur de l'intelligence artificielle ?*. France : La Tribune. [en ligne]. [consulté le 28 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.latribune.fr/technos-medias/internet/qui-a-peur-de-l-intelligence-artificielle-773833.html>

RIFKIN, Jeremy, 2011a. *La troisième révolution industrielle*. France : Les Liens qui Libèrent. ISBN 978-2-918597-47-6.

RIFKIN, Jeremy, 2016. *Comment la troisième révolution industrielle va créer une économie verte*. In : *Huffpost* [en ligne]. [Consulté le 20 février 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.huffingtonpost.fr/jeremy-rifkin/troisieme-revolution-industrielle-environnement_b_8396394.html.

ROBOT-CH. *Robot - Industrie*. [en ligne]. [Consulté le 9 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.robot-ch.org/index.php?pid=3000&lang=fr>.

ROBOTICBEAST.COM. *Les différents types de robots*. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.roboticbeast.com/categorie/chroniques-dun-neoroboticien/>.

ROUSSEAU, Christophe, 2016. *Comment Réussir votre Transformation Lean en Déployant la Culture Lean ?* In : [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <http://leleanmanufacturing.com/>

RUMELLO, Joël, 2015. *La Robolution est en marche !* In : *Chef d'entreprise*. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.chefdentreprise.com/Thematique/digital-innovation-1074/Breves/Les-robots-arrivent-dans-l-entreprise-257277.htm#OR4fYz1S5MBDOfYS.97>.

SARRASIN, Nicolas, 2016. « *Le sentiment d'appartenance et l'importance que les autres jouent par rapport à vous-mêmes...* ». [en ligne]. [Consulté le 2 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.nicolassarrasin.com/sentiment-appartenance>

SCHMIDT, Stéphanie, 2018. *Elon Musk a publié un avertissement terrifiant sur ce qui*

se passerait vraiment si l'IA parvenait à prendre le dessus sur l'humanité. In : Trust my science. [en ligne]. [consulté le 15 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://trustmyscience.com/elon-musk-avertissement-intelligence-artificielle/>

SCHMIEDT, Clémentine, 2015. *La robotisation dans l'industrie : vers plus d'agilité dans l'entreprise*. In : Entreprise du Futur. [en ligne]. [Consulté le 6 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.entreprisedufutur.com/actualites/clementine-schmiedt/la-robotisation-dans-l-industrie%C2%A0-vers-plus-d-agilite-dans-l-entrepri>.

SCHWAB, Klaus, 2017. *La quatrième révolution industrielle*. Malakoff : Dunod. ISBN 978-2-10-075967-5.

STÄUBLI, 2018. *La robotique*. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/5875/5875-la-robotique-industrielle-eduscol-2015_0.pdf.

UNITED NATIONS. World Population Prospects. In : United Nations [en ligne]. [Consulté le 18 février 2018 d]. Disponible à l'adresse : <https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/DemographicProfiles/>.

VAN EEGHEM, A., 2017. *Le monde ouvrier, 1830-1975 : de sa naissance à son organisation*. In : Culture et vous [en ligne]. [Consulté le 25 février 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.culture-et-vous.net/pages/histoire2et1/histoire1/sequence1/s%C3%A9ance-1-le-monde-ouvrier.html>.

UIDEL, Patrice, DU TERTRE, Christian et LIPOVAC, Jean-Christophe, 2016. *Villes durables : vers de nouveaux modèles économiques d'entreprise*. In : Alternatives Economiques [en ligne]. Vol. 2012/1 n°53. [Consulté le 28 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-l-economie-politique-2012-1-page-31.html>.

WAGNER, Tobias, HERRMANN, Christoph et THIEDE, Sebastian, 2017. *Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems*. In : Procedia CIRP [en ligne]. Vol. n°63. [Consulté le 2 mai 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117301385>.

WAILLY, Jeanne-Marie, 2004. *Les différentes phases du travail dans l'industrie*. [en ligne]. N° 20. [Consulté le 27 février 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-innovations-2004-2-page-131.html>.

WIKIPEDIA.ORG. *Lean (production)*. [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2018]. Disponible à l'adresse : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lean_\(production\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lean_(production)).

WIKIPEDIA.ORG. *Corps humain*. [en ligne]. [Consulté le 27 mars 2018 a]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_humain.

WIKIPEDIA.ORG. *Révolution industrielle*. In : Wikipedia l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 18 février 2018 b]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9volution_industrielle.

WIKIPEDIA.ORG. *Robotique*. [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2018 b]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/Robotique#Dans_le_monde.

WORLD OF INNOVATION, 2018. *Be smart*. In : Plastiques & Caoutchoucs magazine, n°947 avril-mai 2018. [Consulté le 17 février 2018].

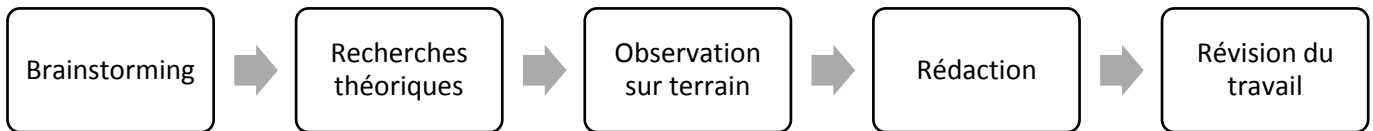
ZEITOUN, Charline, 2018. *A l'usine, au bureau. Tous remplacés par des robots ?* In : CNRS Le journal. [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://lejournel.cnrs.fr/articles/a-lusine-au-bureau-tous-remplaces-par-des-robots>

Annexe 1 : Tableau des phases du travail (Diagramme de Gantt)

Cristina MARTINEZ	Janvier	Février					Mars				Avril					Mai				Juin				Juillet					Août				Septembre		
	29	5	12	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	12	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	3	10	17	
Phase 1																																			
Progressions technologiques (révolutions industrielles)																																			
3ème révolution industrielle et ses composants																																			
4ème révolution industrielle (industrie 4.0)																																			
Rédaction partie et bilan																																			
Phase 2																																			
Définition et évolution de la robotique																																			
Types de robots et robots industriels																																			
IA et Machine Learning																																			
Collaboration entre robots et humains																																			
Interviews ingénieurs, experts																																			
Rédaction parties, bilan																																			
Phase 3																																			
Connaissance des caractéristiques humaines																																			
Sens et besoin du travail																																			
Interviews sociologues, experts																																			
Rédaction parties, bilan																																			
Phase 4																																			
Désindustrialisation																																			
Chiffres sur certains pays																																			
Théorie des organisations																																			
Outil 4.0 : Lean Management et ses composantes																																			
Exemples d'entreprises qui se sont en mutation																																			
Rédaction partie, bilan																																			
Partie 5																																			
Synthèse parties antérieures																																			
Conclusions court-moyen-long terme																																			
Avis personnel (consultant) sur problématique																																			
Divers																																			
Rendu dossier : 17 août 2018																																			
Soutenance orale : septembre (à définir)																																			

Annexe 2 : Méthodologie

Pour chacune des phases, j'ai effectué la même application :

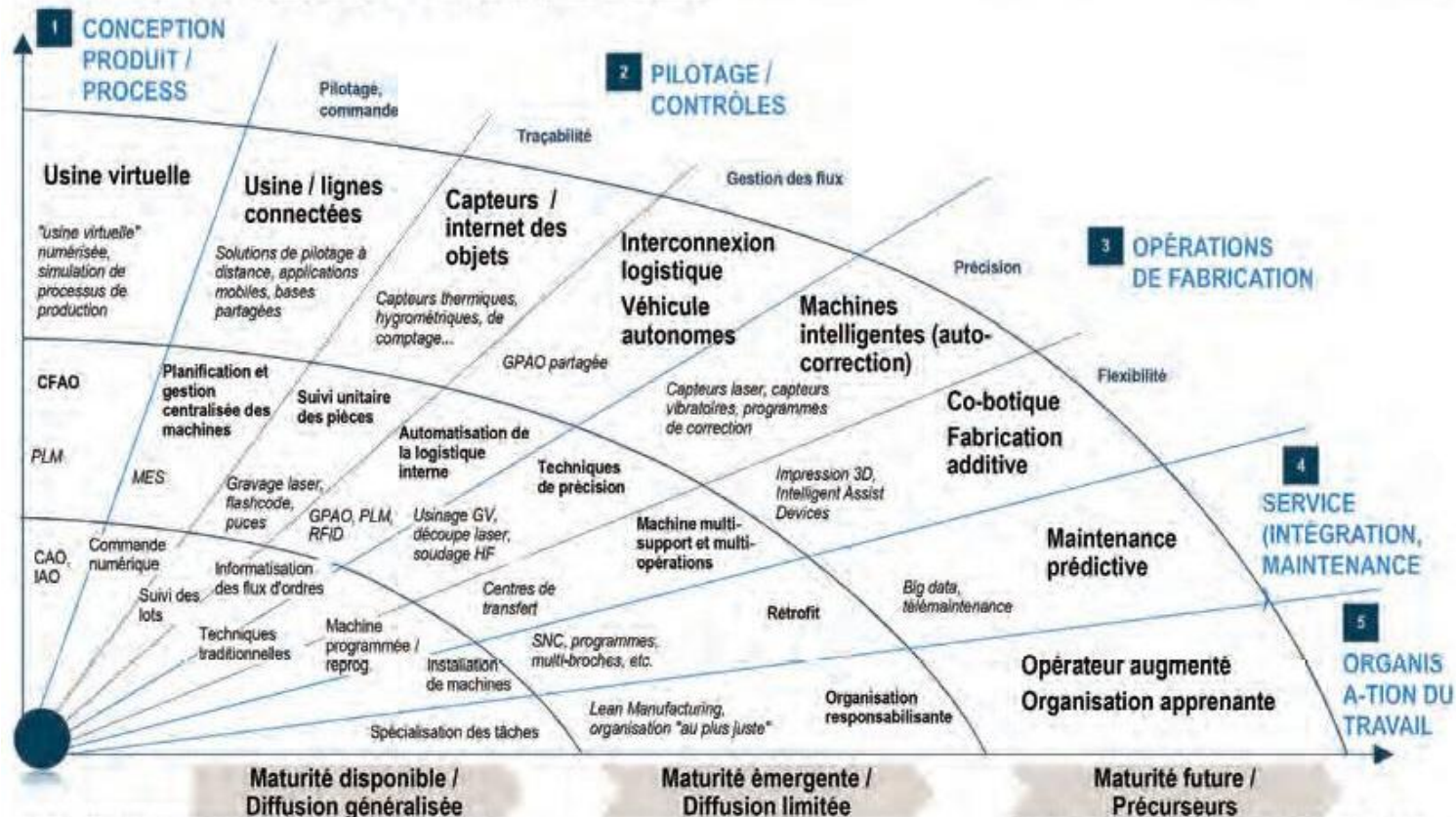


Premièrement, grâce à un tableau blanc, j'ai exprimé un certain nombre d'idées et j'ai recherché ce qui pouvait être important et en lien avec ma problématique. Puis, j'ai effectué de nombreuses recherches théoriques (livres, revues scientifiques, vidéos, journaux), comme le prouve la bibliographie, afin de comprendre et d'approfondir le sujet. Ensuite, j'ai été sur le terrain et cela m'a permis d'améliorer la qualité de mon analyse, de comprendre les véritables problématiques rencontrées par les entreprises et d'avoir un esprit critique. Pour finir, j'ai rédigé la partie en corrélant mes recherches scientifiques avec, à la fin, une partie « Bilan » qui exprime l'essentiel de la phase. J'ai vérifié l'orthographe et la grammaire en juillet lorsque mon dossier était achevé. Puis, j'ai effectué un test d'anti-plagiat sur le document pour garantir ma qualité de rédaction.

Concernant les interviews individuels des ingénieurs et des sociologues, j'ai eu l'opportunité de les rencontrer en face-à-face. Pour les entreprises, j'ai principalement été en contact par téléphone et certains collaborateurs m'ont fourni les informations lors d'une rencontre.

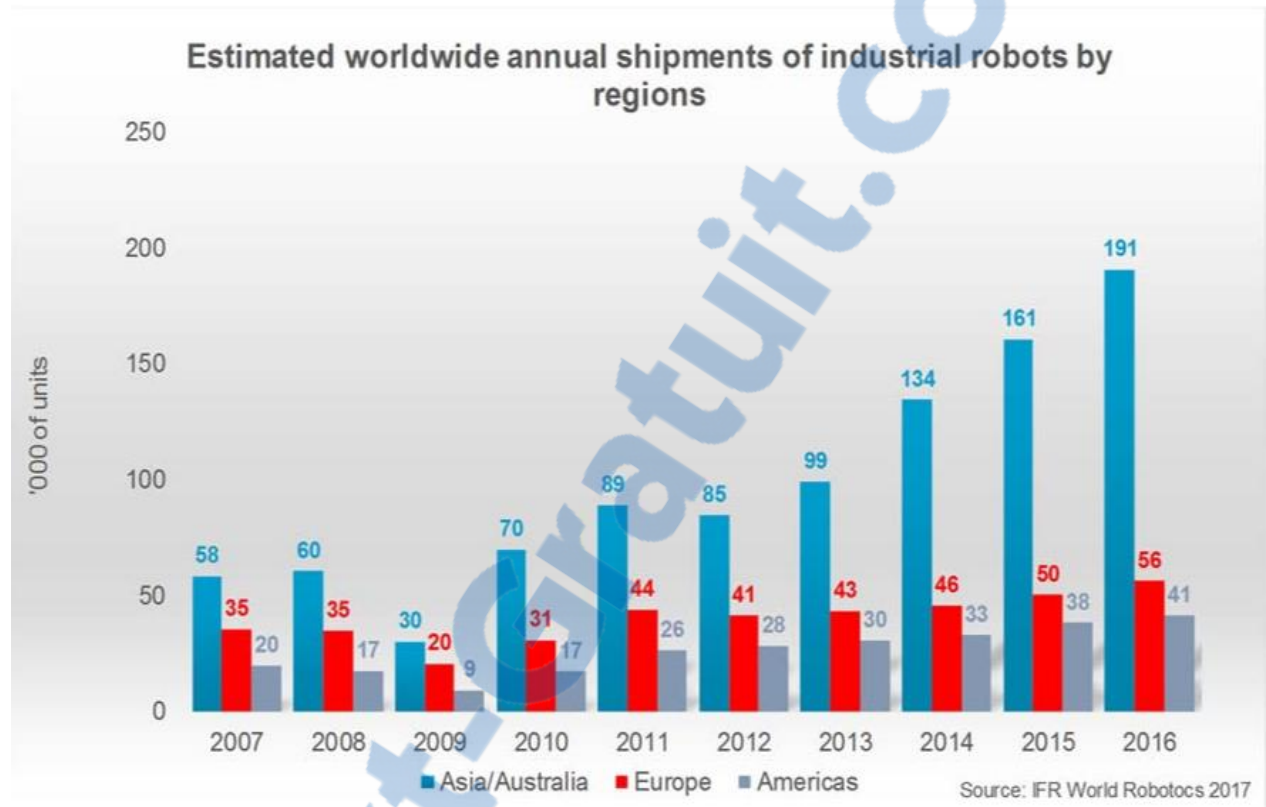
L'avancée technologique dans le domaine de la robotique et de l'automatisation ne cessant d'évoluer chaque jour, ce document ne saurait être complet avec les dernières nouveautés et les dernières informations publiées. Je me suis efforcée de vous le rendre avec, le plus possible, les dernières nouveautés dans le domaine, mais la date butoir de mon bachelor me force à stopper mes recherches à la mi-juillet.

Annexe 3 : Industrie 4.0

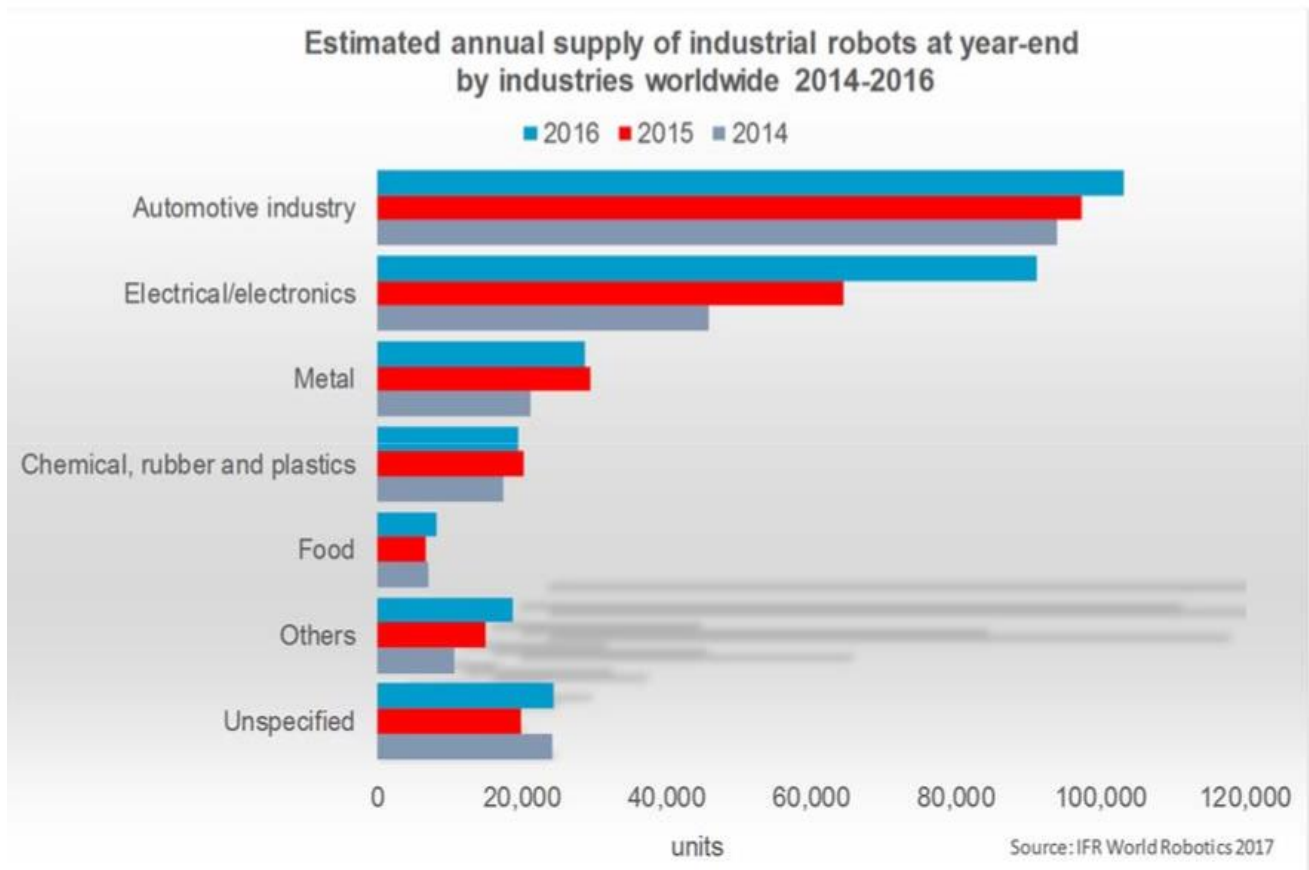


(Max Blanchet, l'industrie 4.0, p.23)

Annexe 4 : Estimated worldwide annual shipments of industrial robots by regions (2007 – 2016)



Annexe 5 : Estimated annual supply of industrial robots at year-end by industries worldwide (2014 – 2016)



Annexe 6 : Estimated annual shipments of multipurpose industrial robots in selected countries (2015 – 2020)

Estimated annual shipments of multipurpose industrial robots in selected countries.
Number of units

Country	2015	2016	2017*	2018*	2019*	2020*	2017/ 2016	CAGR 2018 - 2020
America	38,134	41,295	48,000	50,900	58,200	73,300	16%	15%
North America	36,444	39,671	46,000	48,500	55,000	69,000	16%	14%
- United States	27,504	31,404	36,000	38,000	45,000	55,000	15%	15%
- Canada	3,474	2,334	3,500	4,500	3,000	5,000	50%	13%
- Mexico	5,466	5,933	6,500	6,000	7,000	9,000	10%	11%
Brazil	1,407	1,207	1,500	1,800	2,500	3,500	24%	33%
Rest of South America	283	417	500	600	700	800	20%	17%
Asia/Australia	160,558	190,542	230,300	256,550	296,000	354,400	21%	15%
China	68,556	87,000	115,000	140,000	170,000	210,000	32%	22%
India	2,065	2,627	3,000	3,500	5,000	6,000	14%	26%
Japan	35,023	38,586	42,000	44,000	45,000	48,000	9%	5%
Republic of Korea	38,285	41,373	43,500	42,000	44,000	50,000	5%	5%
Taiwan	7,200	7,569	9,000	9,500	12,000	14,000	19%	16%
Thailand	2,556	2,646	3,000	3,500	4,000	5,000	13%	19%
other Asia/Australia	6,873	10,741	14,800	14,050	16,000	21,400	38%	13%
Europe	50,073	56,043	61,200	63,950	70,750	82,600	9%	11%
Central/Eastern Europe	6,136	7,758	9,900	11,750	13,900	17,500	28%	21%
France	3,045	4,232	4,700	4,500	5,000	6,000	11%	8%
Germany	19,945	20,039	21,000	21,500	23,500	25,000	5%	6%
Italy	6,657	6,465	7,100	7,000	7,500	8,500	10%	6%
Spain	3,766	3,919	4,300	4,600	5,100	6,500	10%	15%
United Kingdom	1,645	1,787	1,900	2,000	2,300	2,500	6%	10%
other Europe	8,879	11,843	12,300	12,600	13,450	16,600	4%	11%
Africa	348	879	800	850	950	1,200	-9%	14%
not specified by countries**	4,635	5,553	6,500	7,000	8,000	9,400	17%	13%
TOTAL	253,748	294,312	346,800	379,250	433,900	520,900	18%	15%

Sources: IFR, national associations

*forecast

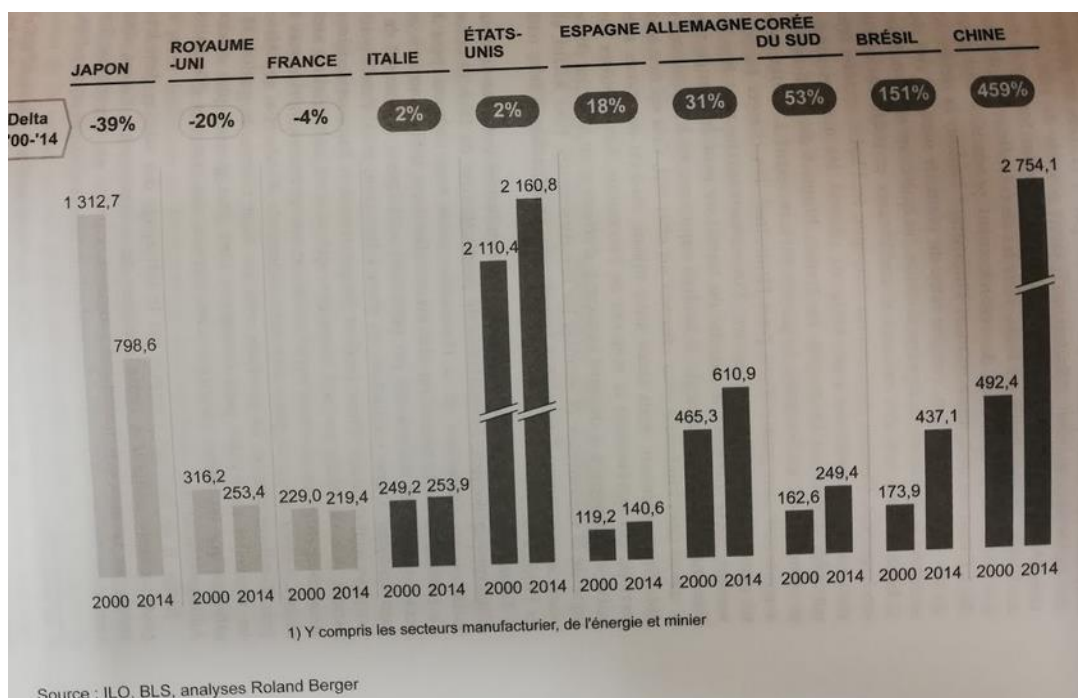
** reported and estimated sales which could not be specified by countries

Annexe 7 : Rappel de la robotique en entreprise (SWOT)

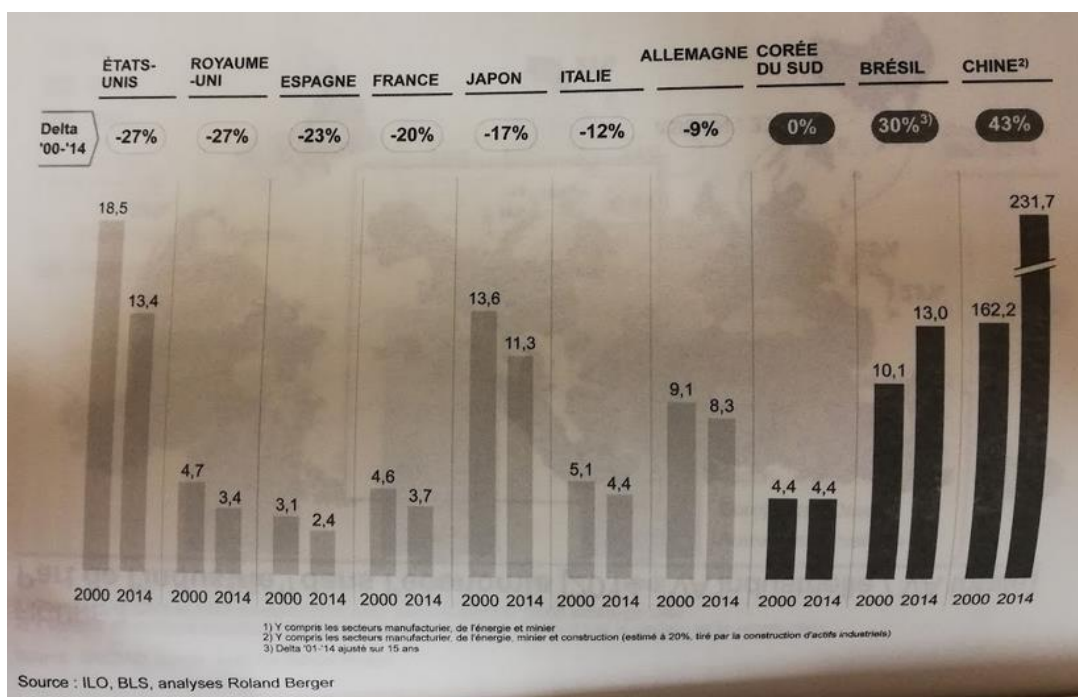
	POSITIF	NÉGATIF
ORIGINE INTERNE	<u>FORCES</u> - Optimisation des processus, pilotage centralisé, gestion des machines améliorée, organisation production, outils - Précision des machines grâce au codage, apprentissage, intelligence artificielle - Flexibilité et multidisciplinarité des machines, cobotique - Productivité des robots par rapport aux collaborateurs	<u>FAIBLESSES</u> - Perte de collaborateurs « spécialistes », automatisation des tâches - Virtualité de l'entreprise, responsabilisation - Motivation, appartenance, sens du travail pour l'employé - Coût des outils industriels, coût du parc machines
ORIGINE EXTERNE	<u>OPPORTUNITES</u> - Nouvelles technologies, Big Data, connexion des machines - Compétitivité, productivité des entreprises, valeur ajoutée - Relocalisation des entreprises, employabilité - Industrie « verte », croissance économique, qualité des produits	<u>MENACES</u> - Marché de l'emploi, chômage, inégalités - Cyberattaques - Pression gouvernementales - Fiscalité et taxation des robots - Fin de l'industrie « traditionnelle »

Annexe 8 et 9 : Évolutions de pays sur la valeur ajoutée industrielle et l'employabilité (2000-2014)

Évolution de la valeur ajoutée industrielle [2000-2014 ; Mrds €]

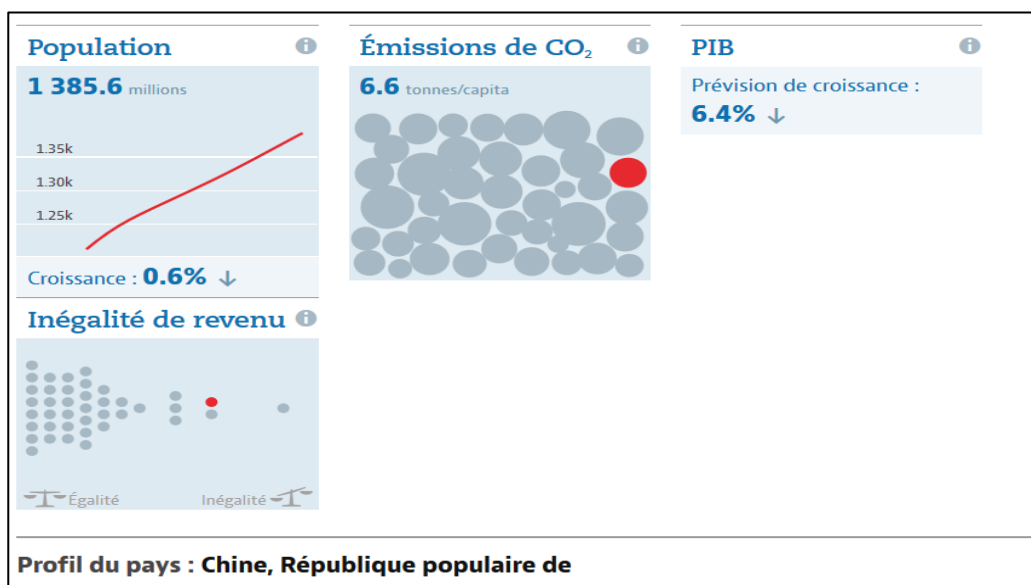
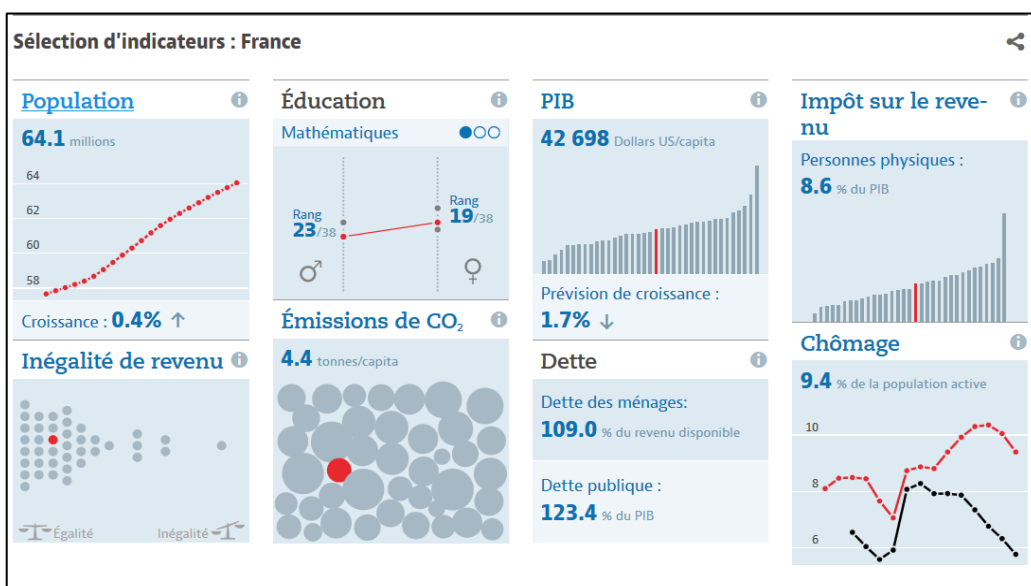
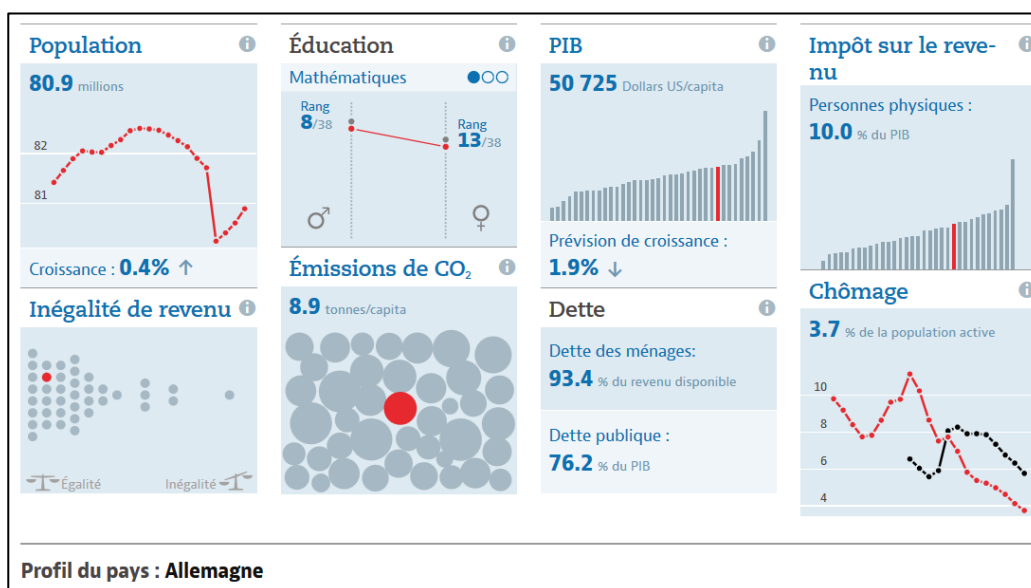


Évolution de l'emploi industriel [2000-2014 ; Mrds €]



Tiré du livre de Max BLANCHET « *Industrie 4.0 : Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique* »

Annexe 10 à 13 : Profil de pays (OCDE, 2017)

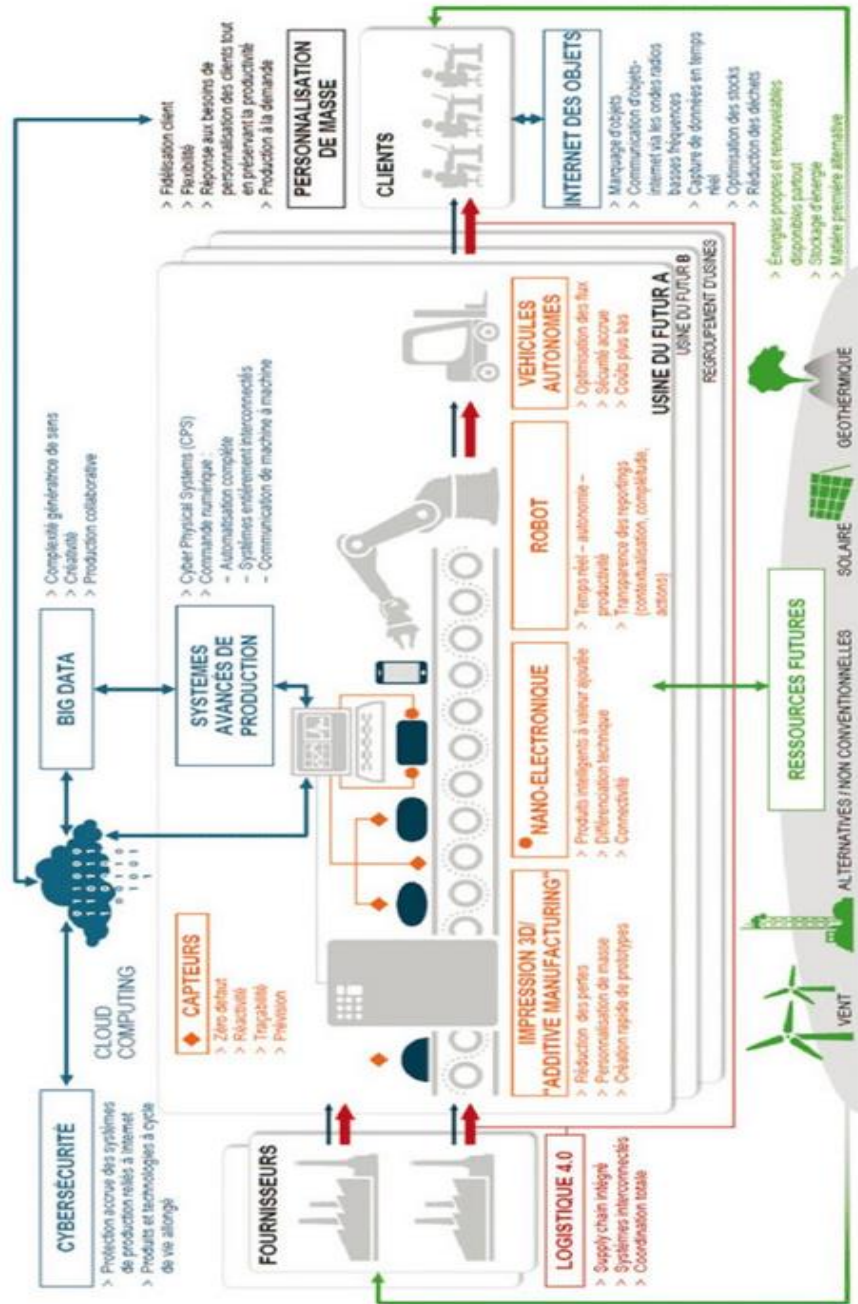


Annexe 14 : Principes d'organisation

Personnage	Ecole	Date	Autre nom donné	Apport dans l'organisation
Adam Smith	Classique	1723-1790	Père fondateur de l'économie politique moderne	Richesses des nations liées à la division du travail, gain en productivité
Frederick W. Taylor	Classique	1856-1915	Taylorisme	Codification de la production industrielle, division verticale et horizontale, division par tâches
Henry Ford	Classique	1863-1947	Fordisme	Travail à la chaîne et production en grande série réduit les coûts de production, standardisation des pièces
Henry Fayol	Classique	1841-1925	Père du management moderne	Amélioration des aspects administratifs du travail (OAT), division en six opérations fonctionnels
Douglas Mc Gregor	Relations humaines	1906-1964		Conceptions de l'homme au travail (théorie X et Y)
Rensis Liker	Relations humaines	1903-1981		Quatre styles de leadership
Abraham Maslow	Relations humaines	1908-1970		Théorie des besoins
Frederick Herzberg	Relations humaines	1923-2000	Père de l'enrichissement des tâches	Modèle Bifactoriel avec facteurs de satisfaction et d'insatisfaction
Igor Ansoff	Prise de décision	1918-2002	Père de la stratégie moderne	Typologie des décisions selon la durée
Peter F. Drucker	Empirique (néoclassique)	1909-2005	Pape du management	Fonctions sociales sont cruciales dans une entreprise, travailler par objectifs (DPO)
William E. Deming	Empirique (néoclassique)	1900-1993		Roue de Deming, sept outils pour la qualité
Shigéo Shingo & Taichi Ohno	Empirique (néoclassique)	1909-1990 1912-1990	Toyotisme	Contrôle qualité, améliorations au niveau logistique, organisation en « zéro défaut »
Henry Mintzberg	Contingence	1939-ajd.		Quatre facteurs de contingences, construction de typologies d'entreprises

Tiré du livre « *L'essentiel de la Théorie des organisations* » de Roger AIM

Annexe 15 : Schéma de l'usine du Futur



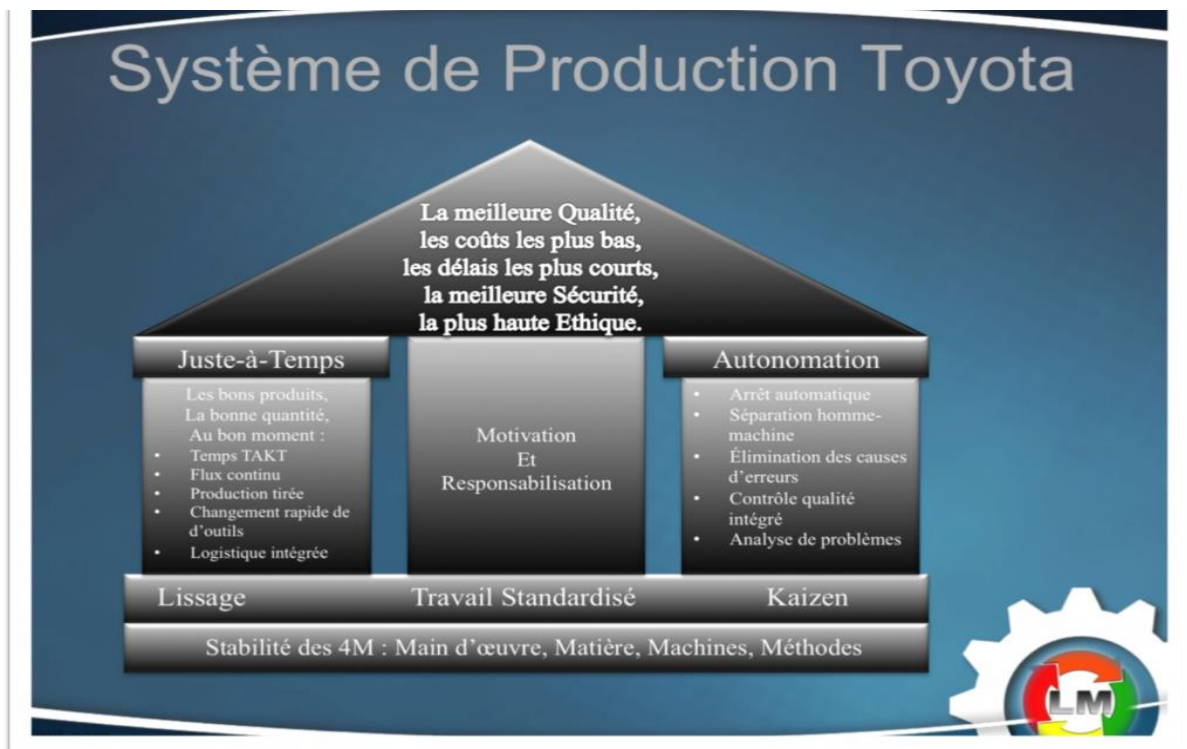
Sources : analyses de Roland BERGER)

« Bien des innovations organisationnelles comme le taylorisme, la planification budgétaire ou le juste à temps ont profondément transformé les entreprises, décuplé leur performance et significativement contribué au bien commun. Réduire l'innovation à la technologie, c'est une nouvelle fois nier sa dimension nécessairement collective et managériale, sans laquelle les inventions restent cantonnées aux laboratoires et les idées aux beaux esprits. »

(Harvard Business Review - Capacité à innover des entreprises romandes 2017)

Annexe 16 : Lean Management

Figure 19 - Production system Toyota



(Le Lean Manufacturing, 2016)

Cette nouvelle organisation du travail, ayant comme but de réduire le gaspillage, est divisé en 3 parties :

Le Muri (les processus non-adaptés), le Mura (l'irrégularité) et le Muda (tout ce qui est sans valeur pour le client).

Figure 20 - Three key elements



(L'usine du futur, 2017)

Les principes du Lean (selon le livre « Lean Management » de Christian HOHMANN)

Les 14 principes du modèle Toyota selon Liker :

1. Fondez vos décisions sur une philosophie à long terme, même au détriment des objectifs financiers à court terme
2. Organisez les processus en flux pièce à pièce pour mettre au jour les problèmes
3. Utilisez des systèmes tirés pour éviter la surproduction
4. Lissez la production (heijunka)

5. Créez une culture de résolution immédiate des problèmes, de qualité du premier coup
6. La standardisation des tâches est le fondement de l'amélioration continue et de la responsabilisation des employés
7. Utilisez le contrôle visuel afin qu'aucun problème ne reste caché
8. Utilisez uniquement des technologies fiables, longuement éprouvées, qui servent vos collaborateurs et vos processus
9. Formez des responsables qui connaissent parfaitement le travail, vivent la philosophie et l'enseignent aux autres
10. Formez des individus et des équipes exceptionnels qui appliquent la philosophie de votre entreprise
11. Respectez votre réseau de partenaires et de fournisseurs en les encourageant et en les aidant à progresser
12. Allez sur le terrain pour bien comprendre la situation (genchi genbutsu)
13. Décidez en prenant le temps nécessaire, par consensus, en examinant en détail toutes les options. Appliquez rapidement les décisions
14. Devenez une entreprise apprenante grâce à la réflexion systématique (hansei) et à l'amélioration continue (kaizen).

Les 5 principes selon Womack & Jones :

1. Spécifier ce qui crée de la valeur pour le client (besoin et attentes)
2. Identifier les flux de valeur et les analyser
3. Favoriser l'écoulement des flux (éliminer le gaspillage)
4. Tirer le flux (produire juste à temps)
5. Viser la perfection (améliorer en continue en répétant les 4 phases)

Les 3 principes selon Womack :

1. Purpose (finalité de l'entreprise)
2. People (parties prenantes)
3. Process (systèmes et processus)

Exemple d'outils de transformation

En lien avec le pilotage (entreprise)

- Analyse de la valeur : méthode qui identifie les différentes composantes d'un produit et qui permet de connaître la satisfaction du consommateur
- Arbre de décisions : outil d'aide à la décision représentant un ensemble de choix sous forme d'un arbre
- Cartographie ou mapping : technique d'édition de plans permettant de comprendre le fonctionnement de l'entreprise et d'identifier les processus clés, ou de placer l'entreprise par rapport à ses concurrents
- Diagramme de Gantt : outil permettant la visualisation des tâches dans le temps
- Hoshin Kanri : méthode de planification et de pilotage stratégique (alignement vertical et horizontal de l'ensemble des parties prenantes)
- Jidoka : pilier du Lean sur la recherche de performances grâce aux améliorations continues (Kaizen)
- Juste à temps (JAT) : pilier du Lean regroupant des techniques en vue d'améliorer la productivité de l'entreprise et réduire les stocks (client déclenche la production)
- PERT : outil pour planifier les travaux en forme de réseau afin de faire ressortir les connexions des tâches ainsi que des chemins critiques
- Roue de Deming (Plan, Do, Check, Act) : moyen logique de simplification des étapes en vue d'améliorer la qualité
- Tableau de bord : instrument de pilotage pro-actif qui regroupe différents indicateurs
- TAKT Time : Travail standardisé ou le rythme de production est égal aux quantités vendues
- 5S : méthode d'amélioration continue des tâches en entreprise (ordonner, ranger, dépoussiérer, rendre évident, être rigoureux)
- 6 Sigma : méthode de management, appelée *DMAIC* (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), en vue d'optimiser les processus, en lien avec les 3 principes de Womack

En lien avec la sécurité (processus)

- Andon : méthode de détection immédiate d'une anomalie sur la chaîne de production ou sur une machine qui affecte le rythme de production en bloquant la transmission au processus suivant
- Analyse des modes de défaillance, effets et criticités (AMDEC) : outils permettant de calculer et connaître la criticité d'un effet et les actions requises selon le seuil
- Carte de contrôle : outils de mesure d'une variation pouvant altérer un processus⁶⁷
- Diagramme de Pareto : Histogramme d'analyse mettant en évidence les causes les plus importantes, dont un des principes est le 80/20⁶⁸
- Diagramme KJ : diagramme des affinités visant à analyser les données et à dégager les convergences pour résoudre les problèmes
- Ishikawa ou diagramme de causes-effets : diagramme de causes à effet autour de 5M (matière, matériel, méthode, main-d'œuvre, milieu) qui permet une visualisation synthétique des causes identifiées
- Kanban : méthode visuelle liée aux flux d'informations auprès des équipes afin de ne pas les surcharger
- Poka Yoke : méthode d'élimination des erreurs
- QQQQCCP : méthode empirique de questionnement issue de la méthode *Five W* (qui, quoi, où, quand, comment, combien, pourquoi)
- Total productive maintenance (TPM) : démarche proactive visant à améliorer le rendement des ressources (maintenance préventive)
- 5 pourquoi : méthode d'identification de causes racines d'un problème en posant plusieurs fois la question « pourquoi »
- 5 zéros : technique issue du JAT regroupant cinq méthodes afin de réduire les stocks (zéro panne, papier, stock, délai, défaut)

⁶⁷ Suite d'opérations menant à un résultat

⁶⁸ 80% des effets sont produits par 20% de causes

- 7+1 gaspillages (Muda) : méthode d'élimination des jalons improductifs (surproduction, surstockage, transport, surprocessing, mouvements inutiles, erreurs, temps d'attente, sous-utilisation des compétences)
- 8D : démarche qualité permettant de créer une équipe pour éradiquer un problème au sein d'une entreprise, complétée par les méthodes de causes à effets, avec une vision préventive

En lien avec l'évaluation (processus)

- Analyse de la variance (ANOVA) : modèle statistique pour comparer les moyennes
- Changement d'outils (SMED) : améliore la flexibilité des outils en réduisant le temps de changement entre deux types de production
- Heijunka : méthode visuelle du niveau d'avancement de la production
- Maîtrise statistique des procédés (MSP) : contrôle des processus au travers de graphiques statistiques
- Matrice de compatibilité : outil d'aide à la décision permettant de retenir un choix parmi plusieurs solutions (notées par des signes)
- Schéma fonctionnel : représentation graphique simplifiée d'un procédé⁶⁹ composé d'interactions
- Stratification ou Data mining : outils qui permettent d'extraire des connaissances à partir de grandes bases de données et d'analyser les *pattern*⁷⁰
- Taux de rendement synthétique (TRS) : indicateur de performance sur les quantités de pièces bonnes par rapport aux quantités théoriquement réalisables
- Value Stream Mapping (VSM) : cartographie d'un processus regroupant toutes les actions d'un produit (d'un état initial à un état final)

⁶⁹ Moyen utilisé pour produire un résultat

⁷⁰ Modèle observé lors d'une étude et qui constitue une solution à un type de problème

Annexe 17 : Questionnaire destiné aux entreprises

Questionnaire destiné aux entreprises

CONFIDENTIEL

Industrie 4.0

1. Avez-vous entendu parler de l'industrie 4.0 ? Oui / Non
2. Quelles sont les différences entre la production pré-révolution (par exemple, il y a 20 ans, 15 ans, 10 ans) et maintenant ?

3. Est-ce que les modifications impactent que le secteur « production » ? Oui / Non
Autres secteurs : _____

Robots

4. Avez-vous robotisé une partie de la production (ou autre) dans l'entreprise ? Oui / Non
5. Avez-vous une fourchette du coût d'investissement (en CHF) de cette robotisation ?

6. Qu'est-ce que cela vous apporte (avantages/inconvénients) d'avoir robotisé ?

Humains

7. Quelle est la place de l'humain dans tout cela ?

8. Quel sentiment a rencontré un collaborateur touché par ce changement ? Positif / Négatif / Neutre
9. Avez-vous modifié des postes afin de replacer les personnes touchées par la robotisation ? Oui / Non
10. Avez-vous mis en place des méthodes (ex. lean management) ou modifié des aspects dans la production ? Oui / Non
11. Qu'avez-vous mis en place ?

12. Qu'est-ce que cela apporte ?

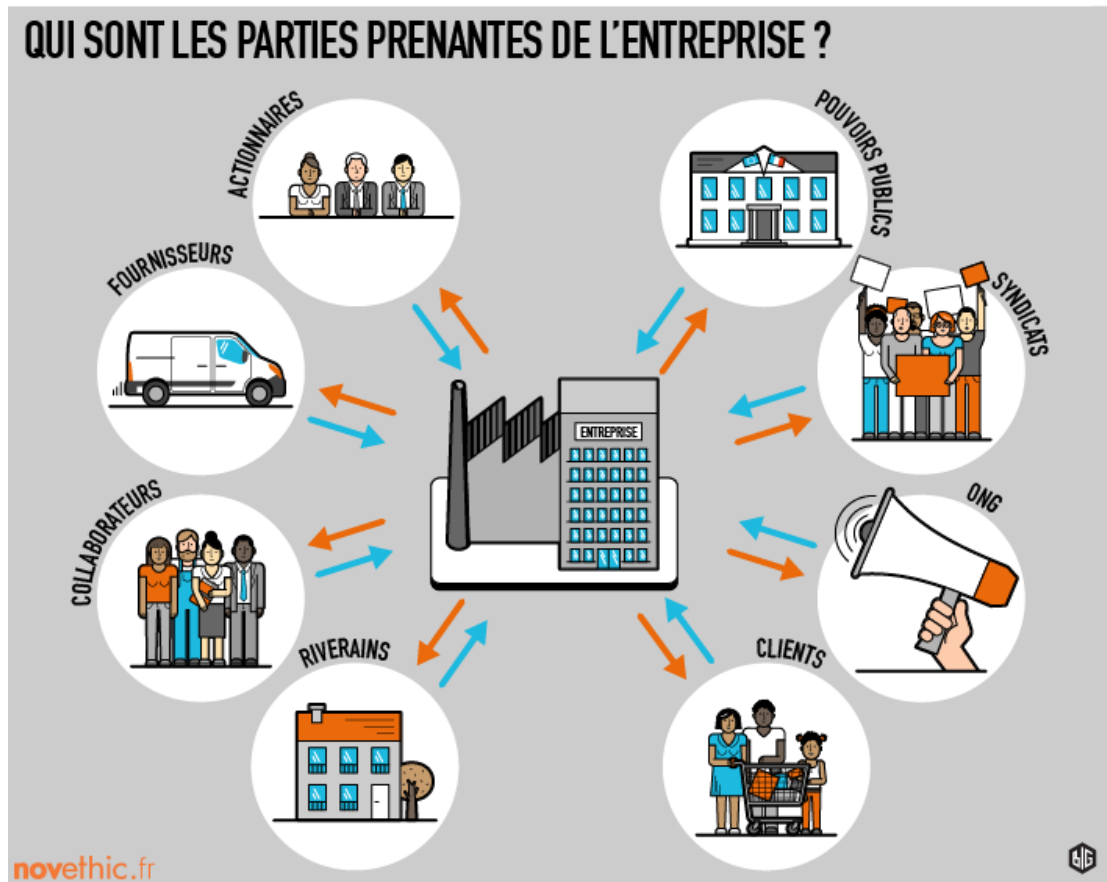
Divers

13. Pensez-vous que l'industrie 4.0, plus précisément la robotisation d'entreprise, est un bienfait ou une menace pour l'homme ? Positif / Négatif
14. Pensez-vous qu'il est possible de collaborer entre les humains et les robots ? Oui / Non
15. Que voyez-vous, à moyen ou long terme, comme évolution concernant la robotisation des entreprises de manière générale ?

16. Quelles seraient les compétences nécessaires dans l'entreprise de « demain » par rapport à aujourd'hui ?

Annexe 18 : Parties prenantes (Stakeholders)

Figure 21 - Stakeholders



(Novethic, 2017)

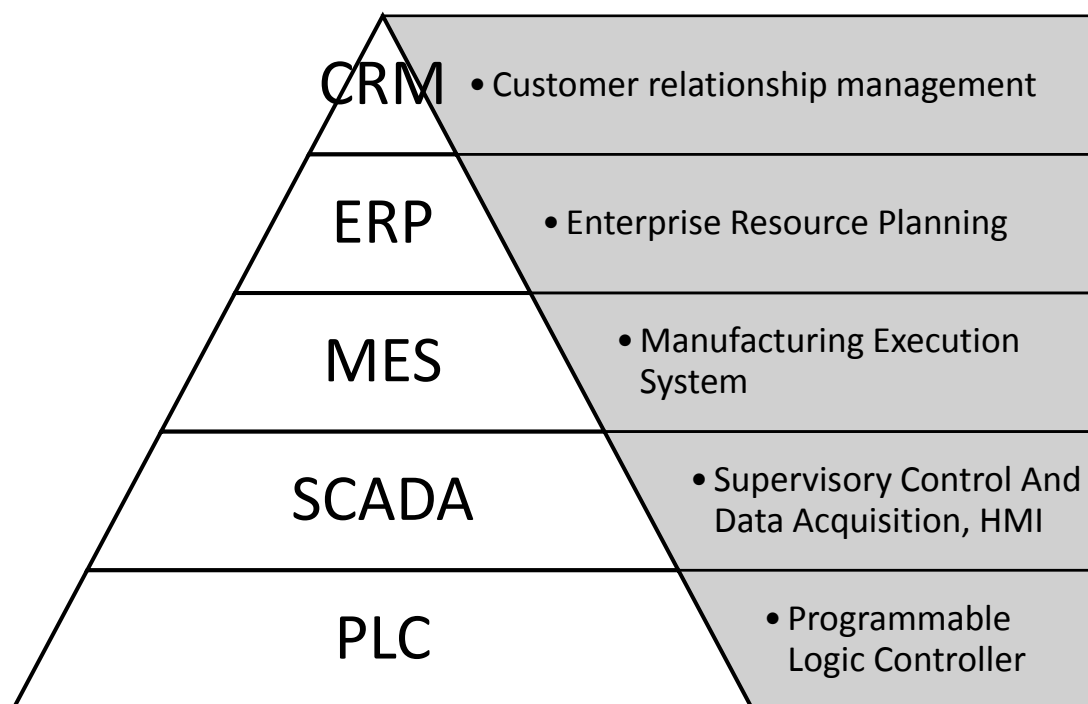
Les parties prenantes regroupent l'ensemble des acteurs qui ont un intérêt avec l'entreprise. Ils peuvent être internes (comme les collaborateurs) ou externes (comme les clients).

Voici les principales parties prenantes d'une entreprise :

- Les fournisseurs
- Les associations
- Les actionnaires
- L'Etat
- Les collaborateurs

Annexe 19 : Outils d'analyse dans les entreprises du secteur secondaire

Autres que les différents outils proposés par le Lean Management (cf. annexe 16), vous avez ci-dessous les divers moyens d'analyses principalement utilisés dans une entreprise de production.



Annexe 20 : Échelle de perception d'autonomie de robot (EPAR)

Dimension	Items
Autonomie énergétique (9 items)	• L'autonomie énergétique des robots est une nécessité • Un robot doit être capable de se recharger par lui-même • Un robot doit pouvoir se recharger sans câble (rechargement par couplage inductif) • Un robot doit pouvoir se recharger tout en continuant à travailler • Un robot doit posséder une batterie interchangeable • Un robot doit pouvoir fonctionner une journée entière sans avoir besoin d'être rechargé • Un robot doit fonctionner sans interruption • La présence d'un bouton physique pour éteindre le robot est nécessaire • Les mises à jour automatiques doivent devenir la norme
Autonomie cognitive (11 items)	• Un robot doit être capable de prendre seul des initiatives • Un robot doit apprendre par lui-même et se développer de manière autonome • Un robot doit être capable de communiquer • Un robot doit pouvoir utiliser les outils à sa disposition (internet, bricolage, etc.) • Le développement d'un robot ne doit pas posséder de limitation • Les robots doivent pouvoir coopérer ensemble • Un robot doit pouvoir collaborer avec les humains • Le robot doit avoir un comportement aussi évolué que celui de l'homme • Un robot doit être capable de penser par lui-même • La pensée du robot ne doit jamais égaler la pensée humaine • Un robot doit être capable d'analyser des situations et de choisir la solution la plus adaptée
Autonomie motrice (8 items)	• Un robot peut se déplacer comme il l'entend chez moi • Un robot doit être capable de courir • Un robot doit pouvoir se déplacer avec aisance dans son environnement (saut, flexion des membres inférieurs, etc.) • Un robot doit avoir un champ d'action illimité • Un robot doit être capable d'utiliser les transports en commun • Un robot doit être capable de rouler en véhicule • Un robot doit être capable de porter des charges lourdes, ainsi que de manipuler des petits objets/outils • Un robot doit être capable de s'orienter seul dans l'espace et dans le temps

Tiré du Mémoire en psychologie de Monsieur Jodan LOMBARD : « Attitudes vis-à-vis des robots : conception d'une échelle de perception d'autonomie de robot » (2014)