



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



THEMA 2023

**GRANDES PRATIQUES
DU MANAGEMENT INDUSTRIEL
ACTUELLES ET FUTURES POUR
L'EXCELLENCE OPÉRATIONNELLE**

THEMA 2023

Grandes pratiques du management
industriel actuelles et futures
pour l'excellence opérationnelle

www.emg.ac.ma

Copyright © 2023 Ecole Marocaine d'Ingénierie

INTRODUCTION

L'industrie évolue, voire subit des révolutions, afin d'être plus performante en matière de maximisation de la satisfaction des clients et de la minimisation des coûts pour apporter, ainsi, une valeur maximale au client. Elle est continuellement à la recherche d'excellence opérationnelle.

Son évolution s'est faite selon trois dimensions principales:

- » Evolution managériale
- » Evolution technologique
- » Evolution sociétale

Evolution managériale:

Aux débuts de l'Industrie, la demande du marché est énorme et tout ce qui est produit trouve preneur. Les premières machines sont très spécialisées qui sont multipliées ce qui augmente linéairement la capacité de production. Les capacités étant identiques, le processus de production peut être équilibré. Lorsque la fabrication a requis des processus plus élaborés, non linéaires, on a introduit des machines différentes avec des capacités et performances différentes. Les fluctuations de celles-ci, ainsi que tous les aléas qui apparaissent, entraînent des discontinuités dans le flux de production, des retards sont enregistrés et l'équilibre est rompu. On utilise, alors, des stocks intermédiaires pour réguler ces fluctuations en "protégeant" les machines les plus rapides (non goulots) des ruptures d'approvisionnement, puis, progressivement, tous les postes, puisque l'emploi maximal de toutes les ressources est recherché. Globalement les délais s'allongent et les coûts augmentent mais le débit a pu être maintenu. Au fil du temps, les investissements deviennent très élevés et le marché doit être partagé avec la concurrence.

Les crises pétrolières, les ralentissements économiques, la saturation de certains marchés et l'émergence de concurrents de plus en plus nombreux et déterminés ont fait du marché un goulot: il n'absorbe plus automatiquement tout ce qui est produit. La concurrence agit et elle est un facteur déterminant dans la fixation du prix de vente. La notion de "prix marché" apparaît qui est établi par le choix des consommateurs et non plus maîtrisé par le producteur. L'offre abondante a aussi profondément modifié

l'attitude de la clientèle qui exige une meilleure qualité satisfaisante, un prix plus bas, une plus grande disponibilité, plus de variété, plus d'innovation etc.

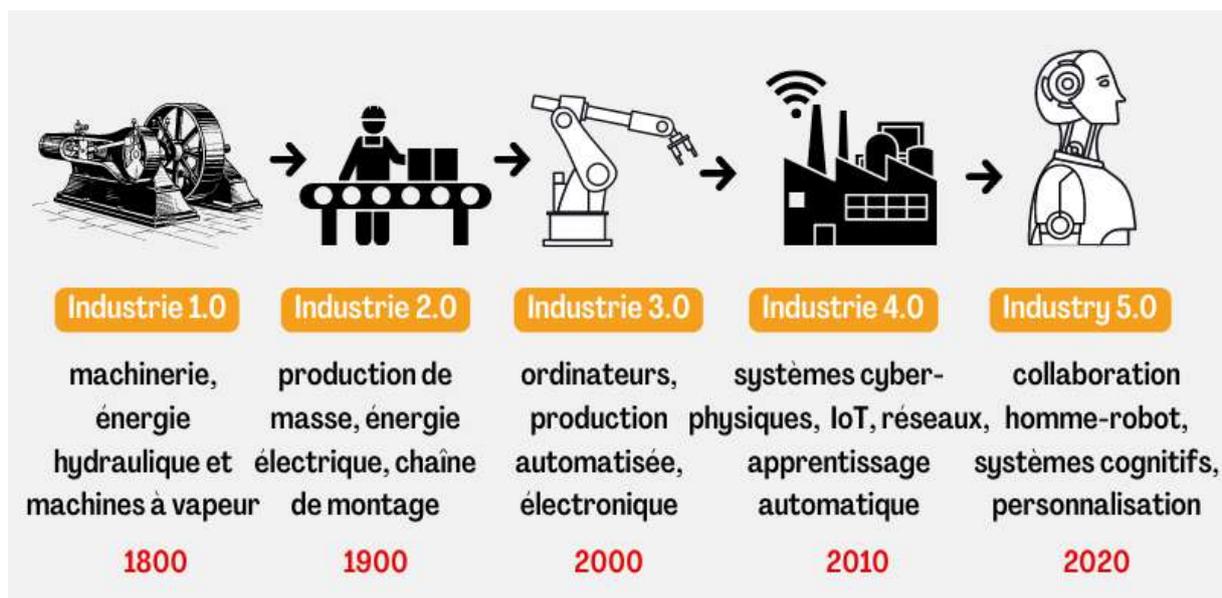
C'est ainsi que le taylorisme et le fordisme laissèrent la place au Toyotisme (le lean manufacturing et le lean management) qui prône une industrie agile, flexible, maigre en termes de gaspillages. Depuis toujours et surtout depuis l'exacerbation de la concurrence suite à la prolifération d'entreprises opérant dans le même domaine et avec des produits analogues voire similaires, d'une part, et l'abolition des mesures protectrices et l'ouverture des marchés et leur libéralisation, d'autre part, les entreprises sont condamnées à améliorer sans cesse leur compétitivité afin de fidéliser leur clientèle et en attirer une nouvelle. Cette compétitivité repose essentiellement sur la capacité des entreprises à fournir des produits et services satisfaisant le client, à réduire le temps de leur mise à disposition, à diminuer les coûts et à innover sans cesse tant au niveau des produits et services qu'au niveau des processus qui ont contribué à leur conception et réalisation. Plusieurs pratiques de management industriel furent développées au fil du temps, notamment en matière de méthodes de conception et développement, de production, de maintenance, de qualité, de logistique, de gestion des ressources humaines etc.

Evolution technologique:

L'industrie est exposée à toutes sortes d'aléas géopolitiques, sociaux et économiques ce qui la pousse à innover en permanence, à améliorer son efficacité et productivité aux différents points de la chaîne de valeur et à être plus flexible face à l'évolution des demandes du consommateur et aux perturbations de toutes sortes pouvant survenir. L'industrie 4.0 est venue apporter une révolution technologique utilisant des outils très performants pour interconnecter les objets dont les machines, stocker et traiter des données massives, utiliser l'intelligence artificielle pour une meilleure prise de décision et de meilleures opérations. Elle a introduit les technologies suivantes:

- » [Cyber Physical Systems et communication M2M](#)
- » [Robots autonomes et collaboratifs \(cobots\)](#)
- » [Internet des Objets et l'Internet industriel des objets \(IoT et IIoT\)](#)
- » [Big Data, Data Mining et Data science](#)
- » [Cloud Computing et edge computing](#)

- » Intelligence artificielle, Machine Learning et deep learning
- » Simulation numérique et jumeau numérique (digital twin)
- » Fabrication additive ou impression 3D
- » Intégration de système horizontale et verticale
- » Réalité augmentée et interface H2M
- » Code QR et RFID
- » Cyber sécurité



Les révolutions industrielles

L'industrie 4.0 a, cependant, négligé le bien-être humain et le respect de l'environnement et n'a pas suffisamment pris en compte les perturbations majeures qui peuvent survenir tels que les catastrophes naturelles, les pandémies, les problèmes de chaînes logistiques etc.

L'industrie 5.0, également appelée cinquième révolution industrielle, est un nouveau paradigme de développement préconisé par la Commission européenne qui encourage la promotion d'une activité industrielle dépassant les objectifs techniques ou économiques, tels que la productivité et l'efficacité pour mettre en avant d'autres objectifs également essentiels tels que le bien-être du travailleur, la durabilité et la résilience. La Commission européenne définit cette industrie comme suit :

« Pour rester le moteur de la prospérité, l'industrie doit mener les transitions numérique et verte. L'industrie 5.0 offre une vision de l'industrie qui vise, au-delà de l'efficacité et de la productivité comme seuls objectifs, et renforce le rôle et la contribution de l'industrie à la société. Elle place le bien-être du travailleur au centre du processus de production et utilise les nouvelles technologies pour assurer la prospérité au-delà des emplois et de la croissance tout en respectant les limites de production de la planète».

Le terme industrie 5.0, adopté par la Commission européenne, est né comme un concept complémentaire à celui de l'industrie 4.0. Cette nouvelle approche favorise le développement industriel vers un modèle productif axé non seulement sur l'innovation technologique et la croissance économique, mais aussi sur un engagement en faveur de pratiques respectueuses de l'homme et de l'environnement. Elle encourage également la consolidation de stratégies de résilience qui renforcent le secteur contre les risques d'interruptions et de perturbations soudaines comme celle résultant de la pandémie de coronavirus.

Ce programme, dont les grandes lignes sont présentées dans le rapport intitulé Industry 5.0 – Towards a sustainable, human centric and resilient European industry, est le fruit des délibérations qui ont eu lieu lors de deux ateliers virtuels organisés en juillet 2020.

L'industrie 5.0 est un nouveau modèle de production où l'accent est mis sur l'interaction entre les humains et les machines. Pour l'industrie 4.0, l'objectif est de minimiser l'implication humaine et de donner la priorité à l'automatisation des processus. Dans une certaine mesure, les humains ont été placés dans une position de rivaux où des machines. Pour l'industrie 5.0, cette tendance est inversée: l'objectif est de trouver un équilibre dans lequel l'interaction machine-homme peut offrir les meilleurs avantages.

“L'industrie 5.0 reconnaît le pouvoir de l'industrie à atteindre des objectifs sociaux au-delà des emplois et de la croissance pour devenir un fournisseur résilient de prospérité, en faisant en sorte que la production respecte les limites de notre planète et en plaçant le bien-être des travailleurs au cœur du processus de fabrication.”

Evolution sociétale:

La RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises, ou Responsabilité Sociétale des Entreprises) est l'ensemble des pratiques de l'entreprise pour respecter les principes du développement durable, c'est-à-dire être la viabilité économique, l'impact positif sur la

société et respect de l'environnement.

La Commission Européenne CE, dans sa 3ème communication sur la RSE en 2011, définit la RSE comme « la responsabilité des entreprises vis-à-vis des effets qu'elles exercent sur la société ». L'UE a publié, aussi, en 2001, un Livre Vert de la Responsabilité Sociale afin de proposer un cadre pour les entreprises souhaitant s'investir dans le développement durable. Elle y donne la définition suivante : « la RSE est l'intégration volontaire des préoccupations sociales et écologiques par les entreprises à leurs activités commerciales et leurs relations avec leurs parties prenantes ». Être socialement responsable signifie non seulement satisfaire pleinement les obligations juridiques applicables, mais aussi investir « davantage » dans le capital humain, l'environnement et les relations avec les parties prenantes de manière notamment à limiter ses impacts négatifs sur l'environnement ou les populations et renforcer les impacts positifs tout en étant économiquement viable.

La CE définit, aussi, la RSE comme « la responsabilité des entreprises vis-à-vis des effets qu'elles exercent sur la société ». La RSE est la contribution des entreprises aux enjeux du développement durable.

Par ailleurs, dans un document publié par un groupe de travail sur la Norme ISO 26000 autour de la Responsabilité Sociale des Entreprises, l'ISO en la définition suivante : « la RSE est la responsabilité d'une organisation vis-à-vis des impacts de ses décisions et activités sur la société et sur l'environnement, se traduisant par un comportement éthique et transparent qui:

- » Contribue au développement durable y compris à la santé et au bien-être de la société ;
- » prend en compte les attentes des parties prenantes ;
- » Respecte les lois en vigueur et est en accord avec les normes internationales de comportement est intégré dans l'ensemble de l'organisation et mis en œuvre dans ses relations ».

Le concept de RSE est né suite aux demandes des associations écologiques et humanitaires qui exigeaient une meilleure prise en compte des impacts sociaux et environnementaux dans les activités des entreprises.

Pour assumer cette responsabilité sociétale, les entreprises doivent intégrer, en collaboration étroite avec les parties prenantes (fournisseurs, clients, sous-traitants etc), les préoccupations en matière sociale, environnementale, éthique, de droits de l'homme et de consommateurs dans les activités commerciales et la stratégie de base.

On utilise les dénominations « responsabilité sociale des entreprises » ou « responsabilité sociétale des entreprises » mais linguistiquement parlant, le mot « sociétal » est une anomalie en français et ne devrait pas être employé. Étymologiquement, c'est le mot « social » qui est correct et qui correspond à la définition de ce mot. Néanmoins, de plus en plus d'experts et d'institutions emploient le terme « sociétal » considérant que le mot « social » ne permet pas d'englober les dimensions économique et environnementale de la définition de la RSE.

L'idée que les entreprises doivent être responsables, prend ses racines dans les travaux de managers américains dans les années cinquante qui considéraient que si les entreprises ne se concentrent plus uniquement sur leurs profits mais s'intéressent aussi à l'impact qu'elles ont sur la société, elles en tireraient bénéfice. Par exemple, si une entreprise paie mieux ses salariés, elle contribue à leur donner du pouvoir d'achat, qui leur permettrait, peut-être, d'acheter les produits de l'entreprise. Si une entreprise gère mieux son impact sur l'environnement, elle fera des économies à long terme en évitant de devoir gérer des catastrophes naturelles. Howard Bowen publie en 1953 un ouvrage intitulé «La responsabilité sociale du businessman» dans lequel il explique l'intérêt des entreprises à être plus responsables socialement. Avec le développement des préoccupations environnementales, mais aussi sociales dans la seconde moitié du 20ème siècle et avec la mondialisation, la responsabilité des entreprises devient un enjeu de plus en plus important. En effet, de plus en plus de consommateurs veulent que les entreprises respectent mieux les lois, l'homme, l'environnement et soient plus responsables en général.

L'objectif de l'école thématique Thema 2023 est de montrer quelques unes des évolutions voire des révolutions qui ont investi l'industrie. Les huit interventions prévues dans le cadre de cette école, qui s'inscrivent dans ce qui vient d'être exposé, sont les suivantes:

	Intervention	Intervenant
1	Total Lean Management 4.0	Prof. Driss BOUAMI (EMG)
2	Management de la qualité et six sigma	Prof. Said EL FEZAZI (EST de Safi)
3	Industrie 4.0: enjeux pour une supply chain verte et durable	Prof. Fouad JAWAB (EST de Fès)
4	Industrie du futur 5.0: durable, résiliente et centrée sur l'homme	Prof. Abdelghani CHERKAOUI (EMI)
5	Total Productive Maintenance et Maintenance 4.0	Prof. Anwar MEDDAOUI (ENSAM de Casablanca)
6	L'intelligence artificielle en industrie	Prof. Anisse KHALD (EMG)
7	Gestion de l'innovation	Prof. Khaoula BOUANANE (EMG)
8	Risques et développement durable	Prof. Fatima Zahra EL MOUJADDIDI (EMG)



Prof. Driss BOUAMI (EMG)

Total Lean Management 4.0

01



Prof. Said EL FEZAZI (EST de Safi)

Management de la qualité et six sigma

02



Prof. Fouad JAWAB (EST de Fès)

Industrie 4.0: enjeux pour une supply chain verte et durable

03



Prof. Abdelghani CHERKAOUI (EMI)

Industrie du futur 5.0: durable, résiliente et centrée sur l'homme

04



Prof. Anwar MEDDAOUI (ENSAM de Casablanca)

Total Productive Maintenance et Maintenance 4.0

05



Prof. Anisse KHALD (EMG)

L'intelligence artificielle en industrie

06



Prof. Khaoula BOUANANE (EMG)

Gestion de l'innovation

07



Prof. Fatima Zahra EL MOUJADDIDI (EMG)

Risques et développement durable

08

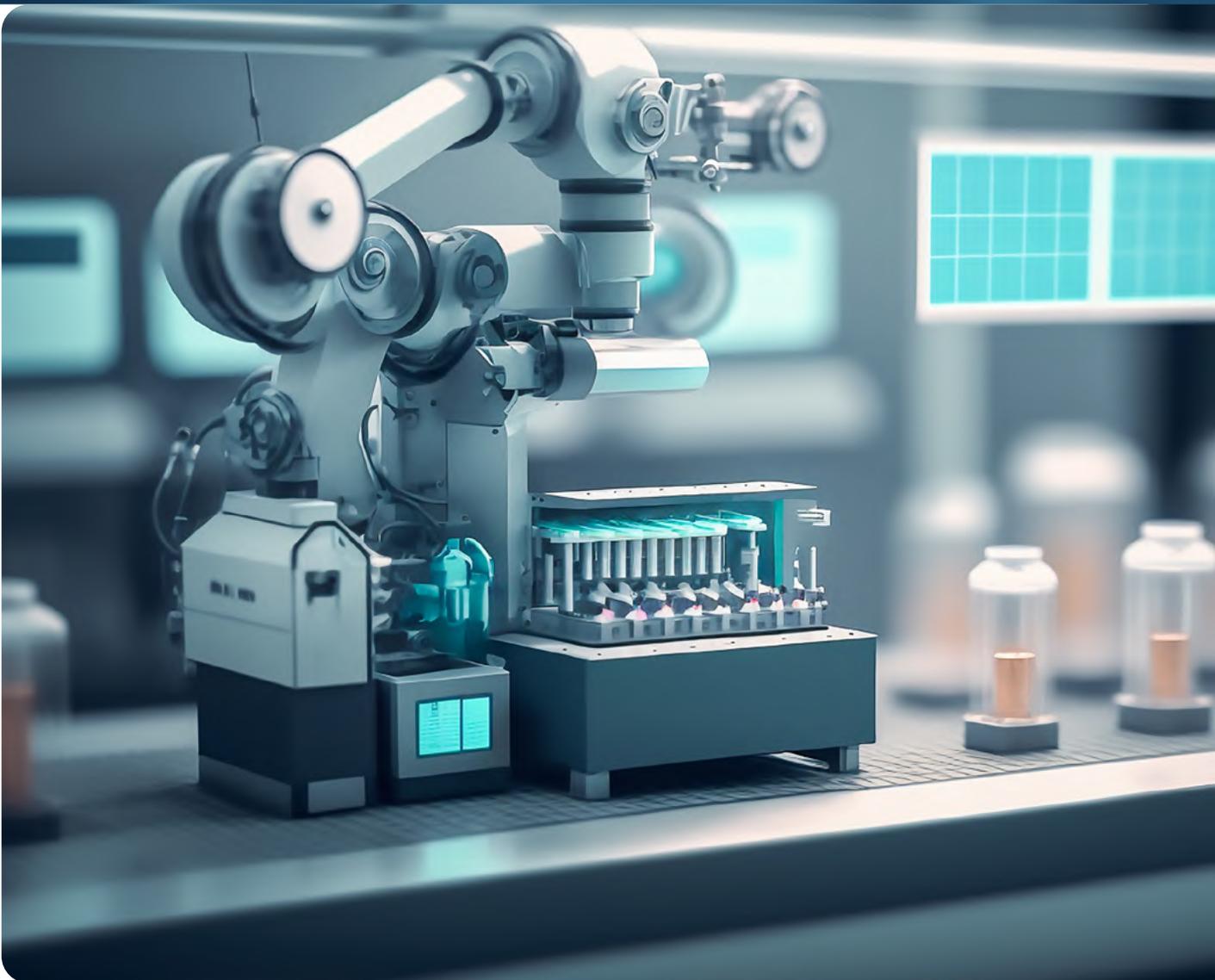


المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



TOTAL LEAN MANAGEMENT 4.0

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Driss BOUAMI

Président

Ecole Marocaine d'Ingénierie

Le lean connaît une très large utilisation dans le monde. Il a investi tous les secteurs d'activité industriels et de service. Dans cet article, nous en exposé sa version classique avec ses 3 M (muda, mura et muri, ses 5 principes (valeur, flux de valeur, flux continu, flux tiré et perfection) ainsi la maison lean qui s'adosse sur le Just in Time, le jidoka ainsi que sur la stabilité des 5 M. Néanmoins cette version souffre de plusieurs critiques que nous avons exposées. Nous avons ensuite mis en avant un nouveau paradigme du lean que nous avons nommé "Total Lean Management" basée sur une nouvelle définition du lean et une nouvelle formulation de la valeur qui constitue le fil d'Ariane de ce nouveau paradigme. Nous avons enfin intégré ce lean avec les technologies de l'industrie 4.0 pour obtenu in fine "le Total Lean management 4.0".

Le Total Lean Management 4.0

Le lean Manufacturing est basé, à l'origine, sur le TPS (Toyota Production System). Au fil des ans, il s'est enrichi et a conquis d'autres domaines que la fabrication pour devenir le lean Management. Dans le présent article, le lean management classique est présenté avec ses trois maux (mudas, muras et muris), ses cinq principes et sa maison. Néanmoins, des critiques pertinentes de ce lean classique sont présentées et plusieurs de ses méthodes et outils sont revisités. Dans une deuxième partie, un nouveau paradigme est dévoilé: le total lean management qui est un lean basé sur une nouvelle définition de la valeur qui fournit le fil conducteur de cette nouvelle approche et de sa démarche de mise en œuvre. C'est une approche holistique du lean qui porte sur tous les produits, tous leurs services associés et toute l'expérience client, sur tous les processus, toutes les fonctions, tous les objectifs, tous les 5M impliqués, tout le parcours du produit, tous les niveaux fonctionnels, tous les environnements de l'entreprise etc. Dans une troisième partie, le Total Lean Management est intégré avec l'industrie 4.0 et ses technologies dont notamment le big data, l'intelligence artificielle, le jumeau digital, la réalité augmentée, les CPS (Cyber Physical Systems), la fabrication additive etc.

1. Le Lean Management:

Après la crise pétrolière de 1973, les entreprises se sont attelées à réduire leur coût et à répondre mieux et plus rapidement aux besoins des clients; ceci dans le but d'améliorer leur compétitivité. Pour répondre à ces exigences, le TPS (Toyota Production System) vit le jour et devenait très connu dans le monde industriel ; il fut qualifié de « méthodes japonaises ».

C'est grâce à ces techniques d'entreprises que les Japonais ont su maintenir leurs activités de (Institute of Technology) étudièrent les méthodologies de gestion d'entreprise développées au Japon. En 1990, ces chercheurs, notamment James P. Womack et Daniel T. Jones donnèrent naissance au terme de « Lean » suite à la publication de leur ouvrage intitulé : « The machine that changed the world » suivi d'un autre intitulé «Lean thinking» publié en 1996. Le lean manufacturing recouvre les techniques, outils et principes que les chercheurs avaient mis en évidence et analysés en étudiant le TPS. Dans les années 2000, le lean révolutionna de nombreuses entreprises. Il fut appliqué au départ dans la construction automobile mais il fit, ensuite, la conquête d'autres secteurs (aéronautique, pharmaceutique, agro-alimentaire, chimie, services etc).

1.1. Définition classique du système Lean:

Le Lean Manufacturing est un système visant de réduire le temps nécessaire à la production en éliminant les gaspillages. Le terme anglais «lean» fut donné pour signifier «la production au plus juste» ou encore «faire plus avec moins ». Faire plus en termes de qualité et moins en termes de ressources, de temps et de coût.

La signification du mot anglais « lean » est « maigre », « sans gras », « svelte ». De manière concise, le lean est un système de gestion de production qui vise une « production sans gaspillage » ou une « production au plus juste ».

Le lean est une culture d'entreprise dont tout le personnel doit s'imprégner et qui se caractérise par :

- » La focalisation étroite sur les besoins des clients et sur ce qui doit être fait pour les satisfaire ;
- » La suppression systématique des « Gaspillages » et activités sans valeur ajoutée dans le processus de production;
- » La mise en place de flux tendus pour réduire le « lead time », les stocks, les coûts et mettre les problèmes en évidence.

1.2. Du Lean Manufacturing au Lean Management:

Comme évoqué précédemment, le lean naquit chez les constructeurs automobiles (Toyota en premier) et concernait principalement la fabrication. Pour cette raison, il fut connu au début sous l'appellation de « lean manufacturing ». Mais les avantages et les succès qu'il a montré lui ont permis d'être appliqué à d'autres étapes du cycle de vie du produit (conception, logistique, exploitation, fin de vie) dans différents secteurs (santé, administration, banque etc). Le lean manufacturing est alors devenu le lean management.

Le concept «Lean» paru en automne 1996 avait eu le temps d'évoluer pour devenir «Lean entreprise» ou «Lean Management» considérant alors l'ensemble de la chaîne de valeur depuis la conception du produit jusqu'au consommateur.

1.3. Types de lean:

Après l'apparition du lean manufacturing en premier, on s'est rendu compte que, finalement, le lean ne concerne pas uniquement la fabrication mais qu'il est parfaitement applicable à d'autres étapes du cycle du produit que sont la définition du produit, la conception et développement, l'approvisionnement, la livraison, l'exploitation, la

maintenance et la fin de vie. On trouve ainsi les types suivants:

Lean definition, lean design, lean logistics, lean utilization, lean maintenance et lean end of life. Des études ont été menées pour définir ces différents types et ont fait l'objet d'une littérature assez abondante. On retrouvera ces différents types dans un schéma organisationnel logique de «Total lean management» que nous proposons et développons dans le second tome de cet ouvrage dans lequel nous lions logiquement le lean qui est une philosophie, des démarches, méthodes et outils au cycle de vie du produit qui doit être évidemment lean en entier.

1.4. Composantes du Lean management:

Le Lean management est un ensemble intégrant de nombreux principes, outils et techniques dans le but de réduire toutes les sources d'inefficacité des chaînes de valeurs tout en comblant les écarts entre la performance réelle et les exigences des clients et actionnaires.

- » Cette approche est basée sur les trois blocs suivants (Figure 1):
- » les 5 principes du lean
- » la maison du lean
- » les 3M



Figure 1: Déterminants du lean management

Une lecture holistique du lean management montre qu'il se focalise sur le flux de valeur dont il vise:

- » l'augmentation de la valeur en éliminant les gaspillages et les activités sans valeur
- » la continuité et l'équilibrage
- » le tirage par l'aval

1.4.1. Les gaspillages 3 M (mudas, muras et muris):

L'objectif majeur du Lean qui justifia, d'ailleurs, son nom est de minimiser les coûts et les délais de livraison tout en apportant le produit et les services associés requis par le client. Pour atteindre un tel objectif, Ohno préconisa d'agir sur trois sources principales d'inefficacité de tout système opérationnel: les gaspillages, la variabilité et les excès (Figure 2.2 et figure 2.3).

Le mode de pensée Lean «lean thincking» définit 3 catégories de pertes de l'organisation industrielle:

- » les muda (gaspillages)
- » les muri (variabilités)
- » les mura (Excès)

Les gaspillages « Mudas »:

Ils regroupent tout gaspillage ou activité ou tâche qui n'apporte donc pas de valeur ajoutée au produit tel que souhaité par le client. Taichi Ohno, a défini 7 gaspillages principaux (Tableau 1):

Type de gaspillage	Définition et exemples	Causes	Remèdes	Méthodes pour le réduire
1. Surproductions	Production hors besoin en termes de quantité et de qualité. Ex: produire et stocker des produits qui peuvent ne pas être vendus	Mauvaise prévisions Mauvaise gestion de plan de production Production push Instabilité des 5 M	Bonnes prévisions Bonne gestion de plan de production Production tirée Stabilité des 5 M	JIT, Kanban, Bonnes prévisions Stabilisation des 5 M

2. Attentes inutiles	Attente des 5M de production Ex: Temps perdu à cause d'une défaillance d'équipement ou indisponibilité d'outils, de pièces...	Mauvaise planification des 5M Mauvaise gestion de logistique Mauvaise gestion d'appros	Planification fiable des 5 M Bonne gestion de logistique Bonne gestion d'appros	Gestion efficace des 5 M Gestion de logistique
3. Transports	Voyages à vide ou selon des trajets trop longs non optimisés voyages à vide ou insuffisamment chargés. Tout déplacement ou transport d'une pièce entre les machines ne lui confère aucune valeur ajoutée.	Mauvaise gestion de logistique Mauvaises implantations	Optimiser la logistique Optimiser les implantations Optimiser les flux	Optimisation des implantations transportées Diagramme spaghetti Optimisation des quantités Optimisation des routes
4. Stocks	Stockage au début, en cours et en fin de production. Tout stock est de l'argent immobilisé soumis à des risques de détérioration, de vols et d'obsolescence outre le gaspillage de temps pour l'épuiser avant de passer à l'étape suivante.	Mauvaise gestion des stocks Mauvaise gestion des appros Mauvaise gestion de plan de production	Optimiser les stocks Optimiser les appros Optimiser le plan de production Optimiser la maintenance	JIT, Kanban Bonnes prévisions
5. Processus/ méthodes excessifs	Activités hors besoins. Tendance des opérateurs à atteindre un niveau de spécification au delà des attentes de clients : opération inutiles, perfectionnisme...	Mauvaise gestion de production Mauvaise conception de processus Mauvais dimensionnement des 5 M requis Mauvaise planification	Bonne gestion de production Bon dimensionnement de postes et processus Bon dimensionnement des 5 M Planification fiable	Analyse de valeur ajoutée
6. Déplacements et mouvements humains	Déplacements et mouvements non optimisés des opérateurs. Ex: déplacement pour chercher une pièce alors qu'elle peut venir au moyen d'un dispositif approprié (tapis, convoyeur, casier en plan incliné etc).	Mauvaise ergonomie de poste et de lignes	Bonne ergonomie de poste Ergonomie de ligne Implantations optimisées	Diagramme spaghetti Ergonomie Mesure de temps

7. Non qualités de produit	Non conformes de production, erreurs, travaux mal exécutés etc	Mauvaise gestion de la qualité	Assurance Qualité Amélioration qualité	MSP, Six Sigma, QRQC Jidoka
-----------------------------------	--	--------------------------------	---	--------------------------------

Tableau 1: Mudras, remèdes, méthodes et outils

Certains ajoutent aussi un autre gaspillage: celui des talents et des compétences qui ne sont pas exploités ou le sont mal. Nous estimons que ce type de gaspillage est intégré de facto dans les autres puisqu'il conduit à eux.

Il est à noter que, dans la majorité des productions «traditionnelles», le ratio des temps des activités à valeur ajoutée VA sur celui des activités sans valeur ajoutée SVA soit $VA / (VA+SVA)$ est de quelques pourcents (presque toujours < 10%) ce qui laisse imaginer les gains qu'une démarche Lean bien conduite permet d'obtenir!

En anglais, il existe un moyen mnémotechnique «DOWNTIME» pour se rappeler ces sept gaspillages auxquels on ajoute un huitième (idées non exploitées):

T: Transportation	D: Defect
I: Inventory	O: Overproduction
M: Motion	W: Waiting
E: Extra processing	N: Not using ideas

La variabilité ou « Mura »:

Le Lean vise à maintenir au sein de l'entreprise un flux régulier garanti par des standards respectés, une facilité de répétabilité des opérations et une fiabilité des mesures. Les variabilités sont sources de pertes. En effet, une variabilité de productivité, par exemple, nécessitera la mise en place d'un stock afin d'y remédier et éviter la non livraison à temps de produits nécessaires aux étapes suivantes du processus. Les variabilités concernent les 5M dont a besoin tout processus pour la transformation de ses entrées en sorties. Le tableau 2 montre les M, leur type de variabilité, la cause et les remèdes pouvant être adoptés pour les éliminer ou tout au moins les réduire.

M	Type de variabilité	Causes	Remède	Méthode ou outil à utiliser
Main-d'œuvre	Productivité ou rendement	Fatigue Maladie Horaires	Mieux sélectionner les recrues Améliorer les implantations, aménagements et l'ergonomie des postes	GRH Implantations Aménagements Ergonomie
	Qualité	Manque de formation Fatigue Maladie Horaires	Former Améliorer les implantations, aménagements et l'ergonomie des postes	Formation Implantations Aménagements Ergonomie MSP
Matériel	Productivité qualité	Pannes Ralentissements Marches à vide Réglages	Éliminer les anomalies des matériels Fiabiliser les réglages	Acquisition Installation Qualification TPM MSP
Matière	Temps Qualité	Temps de livraison Qualité de livraison	Rduire et fiabiliser les délais de livraison Assurer la qualité de la matière et des composants	Gestion des stocks Gestion des approvisionnements
Méthodes	Version Qualité	Absence de standard Inefficacité de standard Non mise à disposition Inapplication Non révision	Améliorer les standards Mieux gérer les versions et leur disponibilité Améliorer l'organisation et la gestion	Standardisation Gestion documentaire Audit
Milieu	Conditions Aménagements	Conditions de travail inadéquates et variables Aménagements	Améliorer et stabiliser les conditions de travail Stabiliser les implantations et aménagements	Implantations Aménagements Ergonomie 5S

Tableau 2: Muras, remèdes, méthodes et outils

L'excès ou l'excédentaire « Muri »:

Le terme « Muri » désigne l'utilisation de moyens disproportionnés par rapport au besoin réel pour atteindre le résultat visé. De façon générale, un Muri est dû à une volonté de se créer une sécurité supplémentaire (souvent non justifiée) pour réaliser une activité ou une tâche donnée ou alors il est dû juste à manque de bon sens ou de justesse de gestion. Il représente ce qui est excédentaire par rapport au besoin en termes de quantité, qualité, temps et coût. On peut estimer que les muris concernent les 5 M dont a besoin tout processus pour la transformation de ses entrées en sorties. Le tableau 3

indique les causes des muris, leurs causes, leurs remèdes et méthodes et outils pour mettre en oeuvre ces derniers.

M	Type d'excès	Causes	Remède	Méthode ou outil à utiliser
Main-d'œuvre	Sur effectif Sur temps Sur compétence Sur coût	Mauvais dimensionnement Mauvaise fixation de temps Mauvaise sélection Trop de formation Mauvaise politique salariale	Bonne gestion des ressources humaines Formation Standardisation	Dimensionnement des effectifs Etude du temps Sélection Politique salariale Formation Standardisation
Matériel	Plus de matériel Surdimensionnement Sur qualité Sur coût	Mauvais dimensionnement de poste et de processus Mauvais plan qualité Mauvais achat	Bonne gestion d'acquisition Mauvaise maintenance	TRS CdCF Achats TPM
Matière	Sur quantité Sur délai de livraison Sur qualité Sur coût	Mauvaises prévisions Mauvaise gestion des stocks Mauvaise gestion des apros	Prévisions fiables Bonne gestion des stocks et des approvisionnements	Prévisions Gestion des DA CdCF Achats
Méthodes	Sur quantité Sur temps Sur qualité Sur coût	Mauvaise gestion documentaire Mauvaise standardisation	Bonne gestion documentaire Bonne standardisation	Gestion documentaire Gestion de création de standards Formation
Milieu	Sur quantité Sur temps Sur qualité Sur coût	Mauvais dimensionnement des locaux Mauvaise utilisation Mauvaises implantations Mauvais aménagements	Bon dimensionnement des locaux Bonne utilisation Implantations optimisées Bons aménagements	CdCF Gestion d'utilisation Standardisation Formation Aménagements Implantations

Tableau 3: Muris, remèdes, méthodes et outils

Nouvelle approche de l'analyse des pertes:

Les approches développées ci-avant sont classiques. Elles sont basées sur l'analyse du temps de cycle, le lead time, le takt time et le throughput time. Elles consistent aussi à analyser les pertes de temps à travers les pertes 3 M (mudas, muras et muris). Ce sont les méthodes apportées par le lean manufacturing dans sa version classique.

Nous estimons que d'autres méthodes peuvent être proposées permettant de mieux identifier les pertes de temps et ne pas se limiter aux sept mudas, les muras et les muris. En analysant ces derniers, d'ailleurs, force est de constater qu'il n'y a pas de véritable fil conducteur, de fil d'ariane entre eux. En outre, l'analyse des processus industriels et de service réels montrent que les 3 M ne sont pas les seules pertes existantes. Il est donc nécessaire de trouver une nouvelle démarche permettant l'identification aisée et exhaustive des pertes pouvant exister. Cette démarche que nous proposons est basée sur les éléments suivants:

- **l'approche processus largement exploitée aujourd'hui et qui reflète la réalité du terrain, Les étapes de chaque processus ou activité (préparation, réalisation, contrôle, stockage, livraison, exploitation, service après vente et fin de vie) (Figure 2).**



Figure 2: Etapes de processus de production

- **La préparation: il s'agit de la préparation préalable à toute fabrication. Elle consiste en des travaux tels que: la préparation des outils, les réglages, les vérifications, les nettoyages, les serrages, les rangements, la fabrication de présérie ou de pièce témoins etc.**
- **la réalisation: C'est la phase de fabrication proprement dite (unitaire ou de série). Elle est similaire à celle de la préparation en termes d'activités.**
 - le contrôle: C'est le contrôle qualité requis hors cycle de fabrication comme le contrôle final ou le contrôle de matière ou produits devant être intégrés dans le produit final
 - le stockage: il s'agit du stockage opéré sur la matière, les produits semi finis et les produits finis si la production n'est pas réalisée en just-in-time sans stock.
 - la livraison: c'est la livraison aux réseaux de distribution ou aux clients finaux. Cela comporte en particulier une opération de transport (routier,

maritime, aérien, ferroviaire)

- l'exploitation: c'est la phase d'utilisation du produit par le client qui doit être également prise en considération afin de garantir et améliorer la satisfaction de ce client
 - le service après vente est l'ensemble des mesures prises afin d'apporter tout le soutien nécessaire au client: maintenance, conseil, formation, information, garantie etc.
 - la fin de vie: Il s'agit de mettre en place toutes les mesures nécessaires pour maîtriser la fin de vie d'un produit: détermination de l'âge optimal de remplacement, traitement du produit à sa fin de vie pour satisfaire le client et protéger l'environnement (débarrasser le client d'un produit devenu encombrant, d'une part, et traiter le produit de sorte à ne pas altérer l'environnement (recyclage, autre utilisation ou cannibalisation).
- **Les 5 M (main-d'œuvre, matière, méthode, matériel, et milieu) contribuant à la réalisation de chacune des étapes précitées. Chaque M fait l'objet de pertes et chaque M est cause de perte. Exemple sur la matière: Il y a des pertes de non conformes (perte de matière) et on constate aussi qu'une rechange non conforme entraîne une perte de temps de maintenance.**
 - **Il y a lieu de considérer aussi pour chaque étape les temps productifs (à valeur ajoutée) et ceux qui ne le sont pas (sans valeur ajoutée). Il est évident que l'une des méthodes de classification les plus pertinentes dans le cadre de l'optimisation recherchée, consiste à distinguer les temps des activités productives (activités à valeur ajoutée) et ceux des activités improductives (sans valeur ajoutée).**
 - **On peut ensuite dans chacune de ces deux catégories distinguer les temps productifs des opérateurs et des machines, d'une part, et ceux improductifs induits par la préparation, les activités annexes, les aléas et les attentes, d'autre part. Pour une activité déterminée, on enregistre un temps (productif ou non) aussi bien pour l'opérateur que pour la machine (TM). Exemple: Un usinage comporte une partie réalisée par l'homme et une autre par la machine. En outre, dans chacune de ces parties, il y a un temps productif (usinage) et un autre qui ne l'est pas (réglage, attente**

etc). Il est évident que dans le cadre de la recherche d'efficience, il est nécessaire, d'abord, d'éliminer les temps improductifs ou tout au moins les réduire si leurs activités sont utiles. Il faut, ensuite, réduire les temps productifs autant que possible sans porter atteinte, bien entendu, à la qualité et le coût.

Pour ne pas trop surcharger le tableau ci-après, seules les pertes génériques sont citées. Néanmoins, elles peuvent être décomposées, elles-mêmes, selon les opérations réalisées. Exemple: Les mouvements d'usinage par tournage peuvent être décomposés en mouvements de fixation de la pièce dans le mandrin, de tournage, d'avance et recul de l'outil, de démontage de pièce etc.

On se rend compte qu'avec cette nouvelle démarche d'identification des pertes, on trouve de nombreuses pertes dont les mudas, muras et muris mais parmi d'autres.

1.4.2. Les cinq principes du Lean:

Après leur étude du TPS (Toyota production system), James P. Womack et al publièrent fin 1996 un livre intitulé: «Lean thinking» où ils définirent cinq principes sur lesquels est basée le lean (Figure 3):



Figure 3: les cinq principes du lean

» P1. Définir la valeur attendue par le client:

Dans un environnement économique concurrentiel, l'entreprise doit satisfaire le client totalement pour l'attirer et le fidéliser. Il est donc essentiel de définir ce qui a de la valeur pour ce client, ce qu'il est prêt à payer. Or ce qui présente de la valeur pour est l'expérience client caractérisé par le produit et ses services associés et la relation avec l'entreprise à tous les niveaux et à toutes les étapes de la vie du produit depuis la commande jusqu'à la fin de vie en passant par la phase d'exploitation. Il importe donc d'identifier et caractériser fidèlement et finement les besoins du client afin de trouver les moyens de les satisfaire.

Le premier principe du «lean thinking» est d'identifier la valeur, cette dernière ne pouvant être définie que par le client final. L'adoption du point de vue du client permet d'identifier la valeur du produit pour laquelle il est prêt à payer. Le coût de l'inefficacité des processus, du gaspillage de ressources, de l'inefficacité structurelle de l'outil de production ou d'une rupture de la chaîne d'approvisionnement ne sont pas des surcoûts acceptables pour le client. Pour lui, ces coûts concernent l'entreprise et il n'est même pas sensé les connaître. Néanmoins indirectement il est concerné par le coût d'achat qui intègre le coût de revient. La valeur est une combinaison de la satisfaction du client à travers le produit et ses services associés et le coût d'achat et tout autre coût supporté par le client.

» P2. Définir le flux de valeur:

Pour réaliser un produit après l'avoir conçu, il est nécessaire de concevoir et qualifier le processus de réalisation en veillant à ce qu'il soit conçu au plus juste en ne comprenant que les activités nécessaires à la satisfaction des exigences du produit telles que fixées par le client principalement final. Les processus de conception du produit et de son processus de réalisation sont très liés et des flux d'information bidirectionnels existent entre eux jusqu'à l'obtention d'un couple (produit, processus de réalisation) conforme. Il s'agit, donc, de déterminer et caractériser les processus contribuant à la satisfaction du client sur tout le cycle du produit depuis la commande jusqu'à la livraison. On représente l'ensemble de ces processus et leurs interactions par une cartographie. Les activités jalonnant ce cycle sont de trois types:

- > les activités à valeur ajoutée pour le client
- > les activités non créatrices de valeur mais qui sont utiles ;
- > les activités sans valeur ajoutée et qui peuvent être supprimées.

Le flux de valeur correspond à l'enchaînement des opérations requises pour la réalisation d'un produit. Il est nécessaire de le représenter par une cartographie montrant les différentes opérations avec leurs caractéristiques en termes de temps, quantité, qualité et rendement. Une des cartographies les plus utilisées est la VSM (Value Stream Mapping). Il est nécessaire d'identifier, dans cette cartographie, les opérations à valeur ajoutée et celles qui ne le sont pas afin et d'apporter les améliorations qui s'imposent consistant notamment à éliminer les activités sans valeur ajoutée et qui sont pas de surcroit indispensables. L'établissement d'un état initial ou « base line », donnera lieu à une feuille de route permettant d'implémenter les améliorations et aboutir à une situation future optimisée.

» **P3. Instaurer un flux continu de valeur.**

Henry Ford fut le premier, en fin 1913, à appliquer la mise en flux linéaire. Il arriva ainsi à réduire de 90% la charge et le temps d'assemblage final du fameux model T. Il répercuta ensuite cette démarche à la fabrication des pièces. Mais ce n'était là qu'un cas spécifique correspondant à de grands volumes et un modèle unique de produit.

Après la Seconde Guerre Mondiale, Taiichi Ohno et ses collaborateurs dont Shigeo Shingo, de Toyota réussirent la mise en flux avec de petits volumes et avec plusieurs variantes de produit en utilisant notamment le just in time, la méthode SMED et les cellules en U. Les processus gagnèrent en flexibilité. L'établissement d'un flux permet aux opérations créatrices de valeur de s'enchaîner en minimisant les attentes, la durée de séjour et les interruptions d'écoulement. L'établissement d'un flux s'oppose à la vision de production en lot, qui est moins efficiente et dans laquelle il faut attendre de former un lot avant de passer à l'étape suivante. Ainsi, Taiichi Ohno et Shigeo Shingo mirent en place un flux continu de production, reposant sur de petits lots de production allant jusqu'à l'unité (one piece flow) et un travail en équipes autonomes dédiés au produit (cellules en U).

» **P4. Travailler en flux tirés.**

La mise en flux donne lieu rapidement à une réduction drastique des temps d'écoulement en raison notamment à la réduction voire élimination des stocks. Il est alors possible de produire à la commande. Il s'agit de ne produire que ce qui est demandé au moment où c'est demandé. Dans ce cas, c'est l'aval qui commande l'amont. C'est le système de production just in time. On élimine ainsi les stockages finaux et intermédiaires. On est dans une approche pull (tirer) plutôt que push (pousser) qui consiste à fabriquer et stocker par lots.

La mise en flux permet un raccourcissement des temps du cycle de réalisation et livraison du produit. Cette diminution des temps de processus permet d'améliorer l'agilité de l'organisation afin de mieux répondre aux changements des besoins des clients de telle manière que le client peut « **tirer le flux** ».

» **P5. Viser la perfection**

L'identification précise de la valeur, l'identification du flux de valeur et l'établissement d'un flux de production continue « tiré par le client » permet l'engagement vers la perfection. Cependant, ceci n'est possible qu'en mettant en place un cercle vertueux d'amélioration continue. Celle-ci est une action universelle nécessaire. On ne peut progresser, aller vers des niveaux supérieurs de performance sans améliorer. L'amélioration est même nécessaire dans certains cas pour juste maintenir l'acquis. L'amélioration se présente sous trois formes connues sous le nom 3K: Kaizen, Kaikaku et kakushin.

Ces cinq principes constituent la démarche classique de mise en œuvre du lean qui préconise de les appliquer dans l'ordre en utilisant des méthodes et outils qui seront développés ci-après et qui sont principalement les suivants (Tableau 4):

N° de principe	Objet du principe	Méthodes et outils	Utilisation
1	Définition de la valeur	AF, VOC, Diagramme de Kano	Identifier fidèlement les besoins du client afin de trouver les moyens de les satisfaire au moindre coût.
2	Définition de flux	VSM	Cartographier le processus du produit en indiquant les temps et d'autres informations (qualité, rendement etc). Il permet d'identifier les activités à valeur ajoutée et celles qui ne le sont pas. Il permet aussi la détermination du lead time et du temps des activités à valeur ajoutée.
		Diagramme de flux ou de déroulement	Cartographier les flux ou déroulement d'un processus afin de le connaître et l'améliorer

3	Flux continu	Diagramme spaghetti	Cartographie des déplacements avec leur longueur et éventuellement leur temps. Il permet d'optimiser les implantations de postes
		Ergonomie	Etude des mouvements et des postures au poste et leurs conséquences sur les temps, la fatigue, le rendement et la santé des opérateurs
		Implantations	Diagramme d'implantation des postes. Il permet de déterminer les déplacements et les flux
		Aménagements	Diagramme d'implantation des postes de production et des facilités. Il permet de déterminer les déplacements et les mouvements.
		Etude du temps	Elle permet d'analyser les temps de travail et de déterminer leur optimum
		Equilibrage heijunka	Permet l'équilibrage de charge en production afin d'éviter les surcharges et les sous-charges génératrices de pertes. Un des principales méthodes utilisées est la Heijunka
		Yamazumi	Permet d'identifier les déséquilibres des temps de cycle par rapport au takt time dans le but de les éliminer.
		TOC	Elle permet l'identification et l'optimisation des flux par les actions menées à partir des goulots
4	Flux tiré	Just in time	Produire au besoin en temps, quantité et lieu
5	Perfection	Kaizen, CPS, 3 K, 5G	Identifier les problèmes et les résoudre au mieux

Tableau 4: Principes du lean et méthodes pour leur application

1.4.3. Maison du Lean (lean house):

Les concepts fondateurs du lean sont représentés sous la forme d'une maison (Lean house). Le premier qui fut proposé comporte un fronton, deux piliers et une fondation (Figure 4). Le fronton porte les objectifs de l'entreprise, les piliers sont les concepts permettant d'atteindre les objectifs (JIT et Jidoka), tandis que la fondation représente les prérequis indispensables pour supporter l'édifice (stabilité des 4M, standardisation, heijunka et Kaizen).

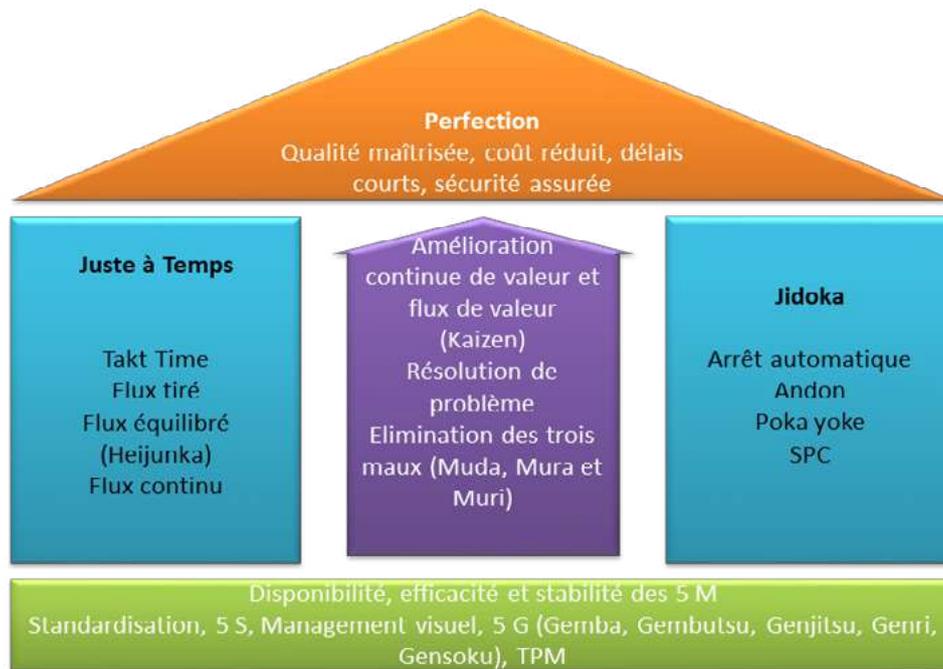


Figure 4: Maison lean développée

- **Fronton de l'édifice lean:**

Le fronton de l'édifice lean porte les objectifs et fondement de la valeur de l'entreprise. Ces objectifs sont les suivants:

- > la meilleure qualité du produit ou service,
- > le prix de revient le plus bas (associé à une meilleure compétitivité) et
- > le temps d'écoulement le plus court. Ces objectifs représentent le triptyque qualité-coût-délais

Ces objectifs conjugués visent la satisfaction client. Ils constituent, d'ailleurs, le triptyque généralement adopté dans le cadre du management de la qualité.

Les objectifs sont déployés par niveau hiérarchique, de la direction, jusqu'aux lignes de production. La fixation et le déploiement de ces objectifs doivent être participatifs afin que ces derniers puissent être appropriés par tous. Le degré d'atteinte des objectifs est mesuré au moyen d'indicateurs judicieusement choisis selon les différents axes de performance. Afin d'être pertinents, les objectifs doivent être SMART:

- > **Spécifique** : Un objectif simple et spécifique en ce sens qu'il est en lien direct avec l'activité réalisée et ne mesure la performance. L'indicateur

correspondant doit être simple à comprendre, clair et précis pour être efficace car la complexité ralentit sa détermination, sa mise à jour, son analyse et sa compréhension. En outre, il doit être obtenu facilement sans calculs complexes.

- **Mesurable** : Un objectif mesurable doit être quantifié au moyen d'un indicateur pertinent judicieusement choisi afin d'en vérifier le degré d'atteinte et l'évolution dans le temps et afin de permettre de réaliser du benchmarking. On doit posséder les moyens matériels pour réaliser les mesures et collecter les données. La mesure doit pouvoir être réalisée sans ambiguïté, d'une équipe à l'autre afin de réaliser des benchmarks.
- **Atteignable** : Un objectif atteignable doit à la fois avoir été atteint par le passé, et être suffisamment ambitieux pour représenter un défi de performance. Les acteurs qui en sont responsables doivent avoir la possibilité d'influencer l'indicateur afin d'atteindre l'objectif (l'indicateur doit être dans le champ des acteurs qui en sont en charge).
- **Réaliste (Relevant)** : Un objectif réaliste est pertinent pour l'ensemble de l'activité. L'indicateur doit être en phase avec les objectifs globaux, ainsi qu'avec la stratégie et les objectifs du secteur opérationnel. La pertinence permet de consolider le sens des actions et d'entamer un processus de motivation.
- **Temporellement défini** : Un objectif doit être temporellement défini. Réaliser un objectif en une année n'est pas le même que de le réaliser en dix ans. L'aspect temporel indiquera également la sensibilité du système.

Le management de la performance exploite des rituels d'animation durant lesquels on réalise une analyse des écarts du processus concerné par rapport aux objectifs est réalisée. La détection des écarts doit engager une recherche de la cause racine de la déviation, et enclencher une résolution de problème via des actions d'amélioration.

Le management de la performance est un outil collaboratif permettant la stabilisation des processus, la mise sous monitoring et l'engagement du processus d'amélioration de la performance. Il permet d'inscrire la démarche lean dans le temps et dans l'ensemble de l'organisation, de renforcer l'autonomie et génère des mécanismes de résolution de problèmes consolidant ainsi l'amélioration continue.

La revue de ces indicateurs se déroule lors de réunions de performance. Ces rituels, organisés à intervalles réguliers et synchronisés, permet une escalade des informations afin que les déviations soient résolues avec les acteurs compétents.

Le management de la performance se traduit sur le terrain par 4 niveaux d'animation :

- > Animation à la fréquence horaire, sur la ligne de production ;
- > Animation à la maille équipe, sur la ligne de production et au sein du secteur ou unité ;
- > Animation quotidienne, à la maille du secteur de production ;
- > Animation hebdomadaire, au niveau du secteur de production et / ou de la direction.

Le format des réunions (heure, durée, lieu), les participants ainsi que le déroulement de la réunion sont standardisés à travers des règles simples. L'ensemble des rituels permet la mesure de la performance, la détection des déviations et la résolution des problèmes, et ce dans l'ensemble de l'édifice hiérarchique.

Les problèmes ne pouvant pas être résolus à un niveau doivent être escaladés (escalation) au niveau supérieur. Ainsi, un problème dont la résolution est impossible au niveau du rituel, donnera lieu à une escalade jusqu'au niveau suffisant pour qu'un acteur résolve le problème. L'escalade des informations doit être nécessairement suivie d'un retour des décisions et/ou actions des niveaux supérieurs afin de communiquer les améliorations, et célébrer les réussites.

- **Premier pilier: le Juste à temps:**

Le juste à temps est un concept dans lequel le bon produit (ou service) selon sa quantité demandée doit être fourni au bon moment. Dans le cadre de cette démarche on ne produit que ce qui est demandé quand c'est demandé. La gestion de la production en juste à temps a pour objectif de satisfaire la rapidité de mise à disposition du produit pour le client. Elle a comme corollaire la minimisation des niveaux de stock et d'encours car on ne travaille pas par grands lots qu'il faut épuiser avant de passer à l'opération suivante. Cela permet d'améliorer l'efficacité du système de production.

Il est à noter que la réduction des stocks et encours sont la conséquence d'une meilleure maîtrise des processus de production. Il faut trouver un compromis de bon aloi entre la minimisation des stocks et des encours risque très coûteux de rupture de la chaîne de

production.

Afin de remplir les objectifs de fourniture de la valeur (qualitativement et quantitativement) au temps requis, on emploie les outils de gestion du flux suivants:

- > « Takt time »
- > Flux continu
- > Système tiré just in time ou kanban
- > SMED ou changement d'outil rapide

- **Deuxième pilier: Jidoka:**

Le Jidoka peut se traduire par « automatisation ». Il s'agit de la contraction de deux mots «autonomie» et «automatisation». Le premier objectif du Jidoka est de rendre la machine autonome en séparant son travail de celui de l'homme. La machine a la capacité de s'arrêter automatiquement lorsqu'elle détecte qu'elle produit des non conformes et d'indiquer cet arrêt au moyen d'un dispositif visuel et/ou sonore approprié appelé andon. De cette manière, l'automatisation des équipements aboutit à un gain de productivité et elle permet la concentration de l'homme sur des tâches à plus forte valeur ajoutée.

Le second objectif est de stopper la production de manière automatique en cas de détection de défauts afin d'éviter de continuer la production de produits défectueux et leur transmission vers l'aval.

Le troisième objectif vise l'utilisation des compétences des opérateurs pour:

L'apport de contremesure rapide afin de redémarrer la production ;

- > La recherche et l'éradication des causes racines du problème.
- > Les outils principaux du Jidoka sont :
 - > L'ANDON ;
 - > La matrice d'auto-qualité ;
 - > Le poka-yoké.
 - > la résolution de problème QRQC

- **Fondations de l'édifice lean:**

Les fondations sont essentiellement constituées de démarches et méthodes nécessaires pour un management « lean » solide et durable. L'absence de ces démarches et méthodes, citées ci-après, déstabilisent l'édifice et amenuisent les performances et la pérennité du système. Ces éléments de fondation sont les suivants:

- > La standardisation ;
- > Le Kaizen ;
- > Equilibrage et lissage de production
- > Les 5S ;
- > Stabilité des 5 M
- > Le management visuel.
- > la Total Productive Maintenance TPM

- **Disponibilité, efficacité et stabilité des 5 M:**

La maison Lean Manufacturing repose sur un socle fort: celui de la stabilité opérationnelle. Il s'agit de la stabilité des 5 M requise pour tous les processus de l'entreprise. Sans ces M, l'entreprise n'existerait pas et serait incapable de produire (Tableau 5):

Tableau 5: Actions pour la stabilité des 5 M

5 M	Objectifs	Actions suggérées	Méthodes et outils
Main-d'œuvre	Savoir-faire Efficacité Sécurité Coût	Formation Santé physique et psychique Motivation Responsabilisation Recrutement si nécessaire Sous-traitance	Leçon ponctuelles Plan de formation Matrice de compétence Plan de motivation Plan sécurité et environnemental REX et KM

Matériel	Disponibilité Capacité Qualité Sécurité Respect d'environnement Coût	Acquisition maîtrisée TRS optimal Capabilité maximale Sécurité totale Respect de l'environnement	CDCF d'acquisition TPM 6 sigma Kaizen SMED Poka yoke
Méthodes	Efficacité Facilité d'utilisation Gestion aisée Coût	Elaboration, diffusion, utilisation, amélioration, actualisation, gestion et archivage de (Standards, Plans, Gammes, Procédures, Instructions, Leçons ponctuelles	AMDEC Standardisation Benchmarking KM: Knowledge Management Gestion documentaire
Matière	Disponibilité Qualité Coût	Approvisionnements et stockage Réception qualitative Optimisation	Gestion et optimisation des stocks et approvisionnements Certification ou homologation de fournisseurs ou partenariat Magasinage efficace
Milieu	Disponibilité Efficacité Aménagement Conditions Coût	Bon aménagement Conditions optimales Installations requises	Ergonomie Plan d'aménagement Diagramme spaghetti Plan sécurité et environnemental

- **Ancrage sur le terrain: Les 3G**

Cette approche terrain est désignée par les 3G. Les 3G désignent les termes :

- > Gemba : le lieu réel
- > Gembutsu : l'objet réel
- > Genjitsu : le fait réel

Il s'agit d'adopter une démarche factuelle, basée sur des données, et de privilégier le contact avec le terrain, lieu de création de la valeur ajoutée, mais aussi des gaspillages.

La valeur ajoutée étant générée sur le Gemba, l'organisation de l'entreprise doit être orientée vers ce dernier afin de maximiser l'efficacité. Les modèles organisationnels classiques reposent sur une organisation scientifique du travail héritée du taylorisme. La division verticale du travail diminue les prises d'initiatives des acteurs du terrain, qui sont confinés dans leurs prérogatives opérationnelles. Le modèle organisationnel lean diffère car les opérationnels, qui sont au cœur de la création de valeur ajoutée, sont mis à contribution pour l'amélioration de processus.

La pyramide organisationnelle est inversée. En effet, la structure traditionnelle, directive de haut en bas, disparaît au profit d'une structure participative où la valeur ajoutée est au cœur du système (Figure 5). Dans ce nouveau système participatif, la direction est responsable de l'orientation du système à travers des consignes claires tandis que l'encadrement accompagne les employés dans leurs prises d'autonomie.

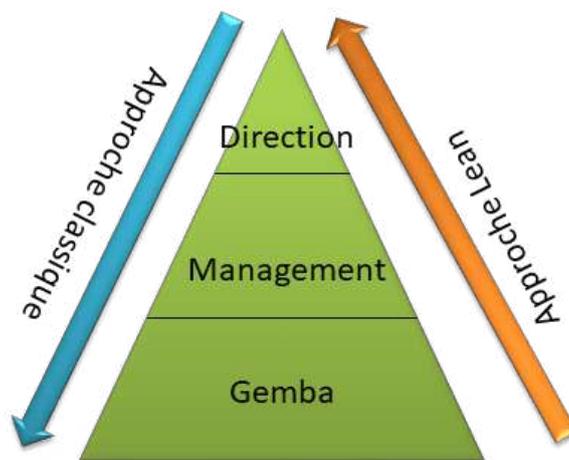


Figure 5: Orientations comparées entre les approches classique et lean

- **L'amélioration d'efficience:**

La démarche lean repose en grande partie sur l'amélioration de l'efficience des processus en satisfaisant le client par le produit et les services associés et en débarrassant ces processus de la non-valeur ajoutée. Elle permet d'atteindre la perfection qui est le cinquième principe du lean management. La valeur ajoutée d'un processus (VA) est ce qui est apportée par une activité de transformation d'un produit ou service pour laquelle le client accorde de la valeur et est, par conséquent, susceptible de payer. Le client refuse de supporter la charge que représentent les défauts qualités et autres gaspillages qui se manifestent lors de la production du produit. En outre, il importe de préciser que même la tâche à valeur ajoutée ne doit être réalisée qu'une seule fois : « bon du premier coup et à tous les coups ».

- **Etude des éléments de la maison lean:**

Le tableau 6 indique les éléments de la maison lean avec leurs objectifs, les méthodes et outils utilisés pour chacun d'eux

Tableau 6: Eléments de la maison du lean

Élément de la maison lean	Objet de l'élément	composant	Objectif du composant	Méthode ou outil
Stabilité des 5 M	Disponibilité, efficacité et stabilité des 5 M	TPM	Amélioration du rendement global	TRS
		Capabilité	Stabiliser et rendre le système capable	SPC - Six sigma
Jidoka	Autonomation qualité	Self arrêt	Arrêt dès détection d'anomalie	Autonomation
		Visualisation	Visualisation de l'état de la machine	Andon
		Résolution de problème	Résolution rapide	QRQC
JIT	Tirage de flux par l'aval	Flux tirés	Tirer la production à partir de l'aval	Kanban
		Flux continu	Changements rapides de série, réglages	SMED
Lissage et Equilibrage	Lissage de charge	Eviter les surcharges et sous-charges		TOC
	Equilibrage de flux	Equilibrer le flux		Heijunka
Kaizen 3K	Amélioration	Amélioration incrémentale		Kaizen
		Amélioration de rupture		Kaikaku
		Innovation perturbante		Kakushin

• **Nouvelle maison lean:**

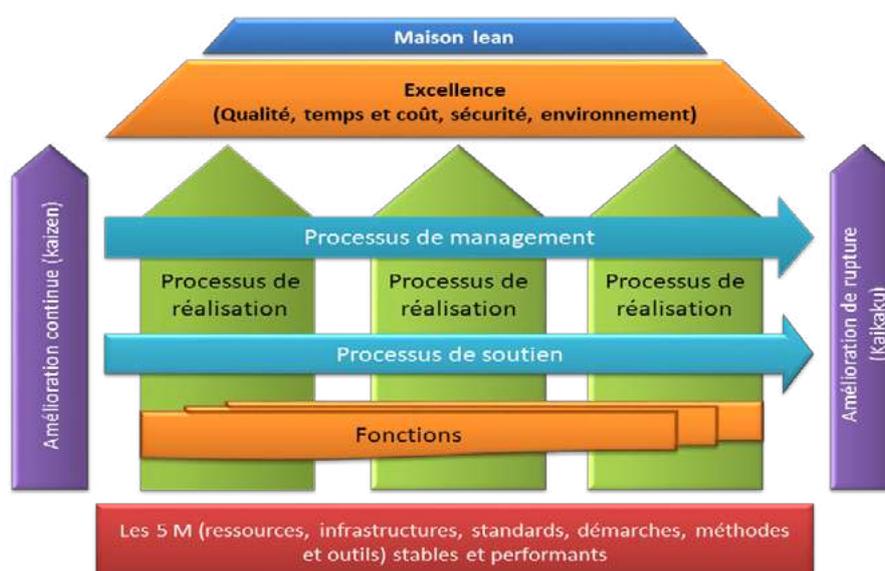


Figure 6: Nouvelle maison lean proposée

La maison Lean généralement proposée dans la littérature est celle de la figure 4. Il apparaît, cependant, que cette représentation ne correspond pas la réalité du terrain. Cela nous incite à proposer plutôt la maison présentée à la figure 6 dans laquelle on a les éléments suivants:

Un substrat constitué des 5M dont ont besoin tous les processus de l'entreprise et sans lesquels aucune production ne pourrait être réalisée:

- > **Matière:** Tout ce qui est utilisé comme matière première, composants, consommable pour tous les processus de l'entreprise avec leur approvisionnement, stockage, transport, contrôle qualité, préservation, utilisation etc
- > **Matériel:** Il s'agit des équipements exploités pour la réalisation de tous les processus de l'entreprise: machines, appareils, dispositifs, matériel informatique, engins etc avec leur maintenance, qui leur sont méthodes appliquées, leur nettoyage, rangement, réglage etc.
- > **Main-d'oeuvre qualité:** Toutes les ressources humaines requises par les processus de l'entreprise à différents niveaux hiérarchique et à différentes fonctions avec leur disponibilité, leur sélection, leur information, leur formation, leur motivation, leur stabilité, leur flexibilité, leur compétence etc.
- > **Méthodes:** Il s'agit des procédures, standards, méthodes de gestion, de préparation, d'ordonnancement, de décision. On intègre dans ces méthodes les 3 G d'ancrage des actions dans le terrain. Il s'agit, aussi, des méthodes de définition de produit, de conception, de développement, de production, d'exploitation, de maintenance, qualité, sécurité, préservation de l'environnement, de fin de vie etc. Les méthodes englobent aussi les démarche d'amélioration dont le kaizen (amélioration continue) avec toutes les méthodes pertinentes de résolution de problèmes qu'elles exploitent telles que: DMAIC, méthode 8D, méthode A3, méthode PDCA, CPS etc.
- > **Milieu:** C'est le milieu de travail: les locaux, les espaces avec leurs aménagements, leurs implantations, leurs conditions de travail et de vie, leurs équipements, leurs installations etc.

Ces 5M constituent véritablement la fondation de tout système. Ils doivent être disponibles, efficaces (efficaces et économes) et stables.

Sur ce substrat viennent se fixer les principaux piliers de toute entreprise que sont les processus constituant sa chaîne de valeur qui, utilisant les 5M de la fondation de la maison lean, apportent la valeur au client en termes de temps, coût et qualité tout en assurant la sécurité et la protection de l'environnement; éléments qui constituent le toit de la maison. Ces piliers sont renforcés et alimentés par des processus de management (qualité, stratégie, communication etc) et de soutien (maintenance et 5 S, approvisionnements, gestion des ressources humaine, logistique, gestion de production etc) qui en assurent la solidité, la performance et la cohérence. On y retrouve donc toutes les démarches, méthodes et techniques qui sont de nature à rendre efficaces les processus de la chaîne de valeur afin d'atteindre le sommet de la maison qui comportent les objectifs de l'entreprise: qualité, temps, coût, sécurité et préservation de l'environnement; éléments qu'exige le client et pour lesquels il est disposé à payer. Ces processus de management et de soutien sont transversaux ce que montre justement la maison.

Il convient de préciser que le just-in-time et le jidoka de la maison classique du lean ne constituent que des démarches et des outils que l'on trouve dans les processus de management et de soutien de la maison que nous proposons qui ne fait pas l'amalgame entre les processus qui apportent la valeur au client, d'une part, et les démarches, méthodes, techniques et outils qui contribuent à la réalisation de ces processus de la chaîne de valeur et ceux qui les pilotent et les soutiennent, d'autre part.

Il importe également de préciser que l'amélioration est un système transversal qui concerne tous les piliers de la maison (processus de réalisation de chaîne de valeur) et tous les 5M de la fondation avec pour point de mire les objectifs du toit de la maison.

- **La VSM (Value Stream Mapping):**

La Value Stream Mapping (VSM ou cartographie de la création de valeur) est un outil visuel d'analyse qui permet de détailler:

- les processus de création de la valeur, du point de vue du client partant de la demande client et arrivant à la livraison client,
- les flux associés de matières et d'informations.

LA VSM sert à identifier les gaspillages, à déterminer leurs causes et bâtir le flux « cible » amélioré par l'élaboration d'une VSD (value stream design) et d'une feuille de route listant l'ensemble des actions (chantiers Kaizen) à mener, souvent sur plusieurs mois, pour mettre en place un flux au plus juste débarrassé des différents gaspillages. La

VSM est un des principaux outils requis pour le déploiement d'une démarche Lean.

On représente le flux de matière entre les postes (Figure 7). Dans le cas où le flux entre postes s'effectue en Kanban, on ne mettra rien à ce stade car cela est considéré comme un flux d'informations.

Lors de cette étape, on indique les flux poussés et les FIFO, ainsi que les modes de transports des pièces entre poste ou en entrée/sortie de l'entreprise.

Le FIFO, First In First Out, indique que le premier élément qui rentre dans une séquence de production est le premier qui en sort. Le plus souvent, ce type de flux est mis en œuvre en mettant les produits sur des rails à rouleaux ayant une légère pente. Le poste amont pose l'objet en haut du rail, à la suite de la file. L'opérateur du poste aval prend le premier produit qu'il a devant lui.

On calcule, enfin, le ratio de valeur ajoutée ou efficacité :

Efficiency = temps de traitement total (somme des TVA des processus) / lead time (somme des délais d'exécution et des temps de traversée des stocks)

Exprimé en pourcentage, ce ratio permet de qualifier l'efficacité du processus. On va donc chercher à avoir un ratio le plus proche possible de 100% en éliminant autant que possible les gaspillages.

Au sein des organisations qui n'ont pas adopté le Lean, ce rapport est souvent de quelques pourcents seulement. L'objectif de l'approche JAT est de l'améliorer sensiblement.

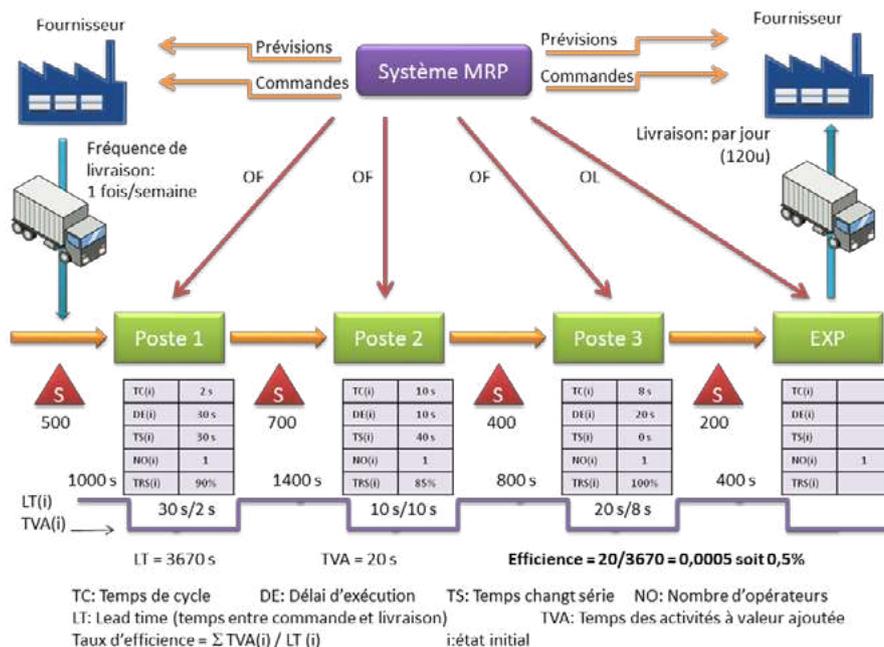


Figure 7: VSM de l'état initial

Le takt time TT représente le temps de fabrication nécessaire pour satisfaire la demande du client. Si le temps de fabrication sur un poste dépasse ce TT, la demande du client ne sera plus satisfaite. Il permet donc d'identifier les postes goulots qui ralentissent la production (temps de cycle supérieur à TT) et qu'il conviendra d'améliorer. Le *takt time* est le rapport entre le temps disponible pour la production (sur une période donnée) et la quantité demandée par le client (sur la même période).

Nm = nombre de minutes travaillées par jour (minutes/jour)

NC = nombre d'unités à produire par jour pour répondre à la demande client (unités / jour)

Le temps takt (minutes/unité) = Nm / NC

- **Analyse critique de la VSM et proposition d'une nouvelle cartographie:**

Dans le but d'améliorer la valeur apportée au client, un outil est l'un des plus importants utilisé dans le lean. Il s'agit de la VSM (value stream mapping) dont un exemple est présenté à la figure 10.

Force est cependant de constater que, suite à une analyse relativement fine et pertinente, des critiques peuvent être relevées au sujet de cette cartographie:

Elle représente les activités selon une optique séquentielle et ne fait pas état d'activités en parallèle et ne représente pas leur temps sur l'échelle de celui-ci.

Elle ne représente pas clairement les interfaces entre activités avec leur données particulièrement les déplacements, les transports, les attentes etc.

La VSM ne traite véritablement qu'un seul facteur: le temps. il est vrai qu'il est important et conditionne fortement le coût et le délai de livraison mais il n'est pas le seul. D'autres composantes du coût et du délai sont également présentes telles que les non conformités, les stockages etc.

La cartographie est assez difficile à faire tenir sur une feuille compte tenu de son tracé principalement horizontal. C'est ce qui fait que des tracés sont réalisés sur de grandes feuilles A1 voire A0. Il aurait fallu réaliser des cartographies en vertical sur des feuilles A4.

Les blocs d'informations caractérisant chaque activité ne sont pas standardisés et les informations qu'il contient changent souvent selon le processus étudié

La cartographie ne montre véritablement pas la valeur apportée au client qui est composée de la satisfaction du client et du coût. Elle ne montre pas non plus la valeur ajoutée qui est pourtant à la base du lean dans sa version classique. Elle ne fait état que des activités et leur temps respectifs ce qui est fort insuffisant. C'est une cartographie de temps et non de valeur. Le diagramme de Gantt et le réseau Pert matérialisent mieux les temps dans un processus.

La nécessité de se remémorer des symboles de représentation, non normalisés d'ailleurs, qui finalement ne servent à rien et surchargent la cartographie. Il aurait fallu au moins utiliser les symboles normalisés existants exploités dans les cartographies de flux.

Pour s'affranchir de ces limitations, nous proposons une nouvelle cartographie (Figure 8) qui représente véritablement la valeur dans une chaîne d'activités contribuant à réaliser un produit. Nous l'appellerons justement: Chain Value Mapping VCM (Cartographie de chaîne de valeurs CCV).

Elle représentera graphiquement de façon simple et claire le processus de réalisation du produit et ses services associés avec les différentes activités qui le composent et leurs interfaces.

Elle fournira toutes les données liées à la valeur globale et des différentes activités: Temps, coût, satisfaction, valeur, valeur ajoutée et marge.

Elle montrera des représentations graphiques de ces données pour les différentes activités du processus afin d'identifier les activités ou interfaces névralgiques en matière de valeur.

Entreprise db			VALUE CHAIN MAPPING (VCM)			Vcm n°		Page 1/2				
Usine						Date:						
Atelier						Version:						
Étapes			Déroulement			Interfaces						
Etape e1						Interface I1						
Performances						Performances						
Durée						Durée			Durée			
Trs						Trs			Trs			
Nombre d'opérateurs						Nombre d'opérateurs			Nombre d'opérateurs			
Coût						Coût			Coût			
Élément à valeur ajoutée		Oui				Non	Élément à valeur ajoutée		Oui	Non	Élément à valeur ajoutée	
Criticité globale						Criticité globale			Criticité globale			
.....											
Etape Ei									Interface Ij			
Performances						Performances						
Durée			Durée			Durée						
Trs			TRS			TRS						
Nombre d'opérateurs			Nombre d'opérateurs			Nombre d'opérateurs						
Coût			Coût			Coût						
A valeur ajoutée		Oui	Non	Élément à valeur ajoutée		Oui	Non	Élément à valeur ajoutée				
Criticité globale			Criticité globale			Criticité globale						
.....											
Etape en						Interface Im						
Performances						Performances						
Durée			Durée			Durée						
Trs			TRS			TRS						
Nombre d'opérateurs			Nombre d'opérateurs			Nombre d'opérateurs						
Coût			Coût			Coût						
Élément à valeur ajoutée		Oui	Non	Élément à valeur ajoutée		Oui	Non	Élément à valeur ajoutée				
Criticité globale			Criticité globale			Criticité globale						
Lead time LT total			TRS global			Coût de main-d'œuvre total						
TVA total			Takt time			Coût technique total						
TVA/LT (%)			Nombre total d'opérateurs			Coût global						

Interface: Transport, convoyage, stockage, rangement, décision etc...

Figure 8: Nouvelle cartographie de valeur VCM (Value Chain Mapping)

- **Boîte de nivellement Heijunka:**

Heijunka (Nivellement en japonais) est le lissage de la production en fonction du volume à fabriquer et du mix produit pendant une période de temps déterminée.

Ce nivellement consiste à planifier la production en lots dont la taille est la plus petite possible et qui sont répartis dans le temps. On est ainsi capable de produire plusieurs typologies de produit dans un laps de temps défini et sur une même chaîne de production. Avec ce fonctionnement, on pallie à la fluctuation de la demande client, à la baisse comme à la hausse.

Le lissage de la production, réalisé au moyen d'une boîte de nivellement permet de répondre à la variation de la demande et introduire un rythme de production régulier et défini. Ce découplage entre une demande variable et une production régulière est réalisée par fractionnement de la demande en petite unités réparties uniformément dans le temps.

La diminution de la taille de lot et la réalisation de changements de série fréquents, préconisés par cette méthode, permettent un approvisionnement des marchés sans rupture des flux (Juste à temps). Ceci permet la limitation des stocks et en-cours et améliore la réactivité par rapport aux besoins clients.

La boîte Heijunka est un outil sous forme de cases (Figure 9) dont le but est de niveler la production en références « produit » et en volumes sur la période couverte par la boîte Heijunka (équipe, journée, semaine,...) afin de:

- > réduire l'en-cours (donc les cycles), en diminuant la taille des lots de fabrication de chaque référence,
- > transmettre aux postes amont une demande régulière en quantité, permettant de réguler les variations de ressources à mettre en œuvre (correspondant à une variation entre le temps requis et le temps requis + quelques heures supplémentaires sans avoir à « embaucher » des personnels de plus).

La boîte Heijunka est souvent associée à un séquenceur permettant de présenter au poste de travail les ordres de fabrication OF sortis de la boîte Heijunka suivant une

logique FIFO (Figure 9):

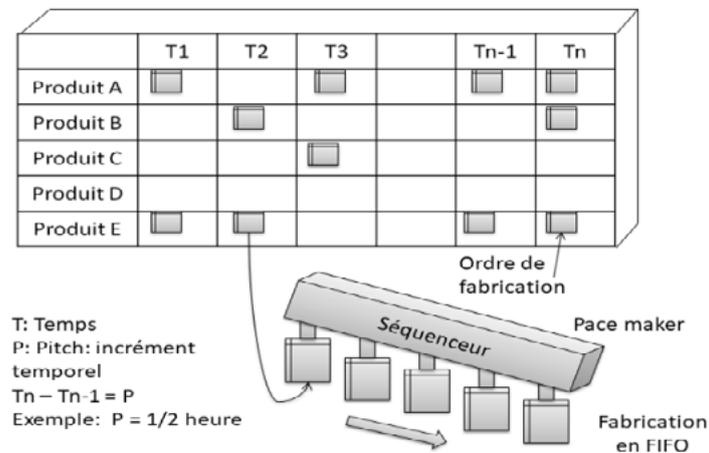


Figure 9: Schéma du système Heijunka

L'agencement des cartes sur la période couverte par la boîte Heijunka (journee, semaine) est revu à chaque début de période en fonction des commandes fermes prévues pour la période suivante (Figure 10).



Figure 10: Planning de production avec et sans heijunka

- **Exemple simple de nivellement:**

La boîte Heijunka permet d'atteindre deux objectifs essentiels:

- > Réduire la taille de lots de fabrication
- > Assurer une production la plus nivelée et régulière possible

Pour illustrer cela on considère l'exemple suivant:

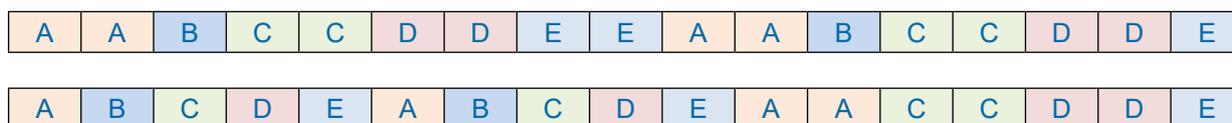
Une entreprise fabrique 5 produits différents (A, B, C, D, E) dont les temps de fabrication unitaire sont quasiment les mêmes.

Produit	A	B	C	D	E
Demande	4	2	4	4	3

La séquence classique de production consiste à fabriquer les lots des produits les uns après les autres pour minimiser les temps de changements de série (figure). Cela entraîne la présence de grands en-cours et l'attente des clients afin d'être livrés en produit programmés en fin de séquence.



En nivelant la production, on obtient les séquences possibles suivantes en essayant de réduire le nombre de changements de série autant que possible:



- **Système JIT:**

Le juste à temps vient de l'anglais « Just-in-Time ». Ce concept a été développé au Japon au sein de l'usine Toyota dans les années 50 par l'ingénieur Taichi Ohno et avait comme motivation principale l'élimination des gaspillages à tous les niveaux.

le JIT est un système de production consistant à ne produire qu'au moment demandé, la qualité voulue et la livraison au lieu fixé. Pour la fabrication sur prévision, on parle de flux poussé. On fabrique, on stocke et on livre. On pousse donc le flux vers le marché.

Pour la fabrication sur commandes clients en Juste à Temps, on parle de flux tiré. La livraison se fait sans stockage à la demande du client. La fabrication est tirée par le marché.

La grande révolution du Just-in-time en tant que système de production fut qu'il utilisait un système pull, où chaque phase de la production sollicitait la phase antérieure ce dont elle avait besoin, lorsqu'elle en avait besoin. Ainsi, on ne produisait que ce qui était nécessaire quand réellement c'était nécessaire et suivant la quantité nécessaire, en réduisant au minimum l'accumulation de stock. Pour communiquer les commandes d'une phase à la phase antérieure, le système Kanban a été créé basé sur des étiquettes d'instruction.

Le JIT a pour finalité d'éliminer les étapes qui prennent du temps sans créer de la valeur pour enchaîner les étapes qui en créent dans un flux continu, tiré par la demande client (Figure 13.1). Il permet donc d'accélérer le flux de la chaîne de la valeur, c'est-à-dire réduire le temps de traversée (Throughput time) entre le point d'entrée de la matière et le point de sortie des produits.

Le JIT nécessite les actions suivantes:

- Maîtrise des entrées en termes de temps de livraison, de qualité et de coût. Cela exige le bon choix de fournisseurs fiables, réactifs, flexibles et maîtrisant leurs processus.
- Un flux de valeur continu, équilibré, rapide et tiré par l'aval: Cela nécessite d'éliminer les goulots d'étranglement, d'éliminer ou au moins de réduire les stocks, un système performant de planification de la production et des approvisionnements, une charge de travail satisfaisante et lissée, la réduction des temps à tous les niveaux (changement de réglages, d'outils, d'équipes etc).
- Maîtrise des sorties en termes de temps de livraison, de qualité et de coût. Cela exige le bon choix de la logistique externe, une bonne communication avec les clients.

- **La méthode KANBAN :**

La méthode Kanban organise l'approvisionnement et la production de biens lorsque les processus de fabrication fonctionnent selon la méthode du juste-à-temps (JAT) qui consiste à livrer les matières premières au moment exact du besoin. L'objectif final

est d'ajuster la capacité de production à la demande afin d'éviter le surstock et les temps d'attente inutiles entre les processus.

La méthode Kanban établit un protocole pour le réapprovisionnement des stocks. Il s'agit d'un système de communication des ordres de fabrication et d'approvisionnement en matériaux. Il est utilisé dans les modèles de production qui répondent de manière directe à la demande (flux tirés : la fabrication du produit ne commence que lorsque l'usine de production reçoit la commande ferme du client).

Taiichi Ohno a conçu le système Kanban en s'inspirant des règles de réapprovisionnement des supermarchés américains. Dans ces magasins, les clients retirent les produits étiquetés des rayons et, en passant en caisse, le système recueille toutes les références vendues et émet un ordre de réapprovisionnement à l'entrepôt, qui identifie les marchandises de la même manière.

Une fois les articles réassortis dans le supermarché, l'entrepôt envoie à son tour un ordre de réapprovisionnement à ses fournisseurs ou fabricants, et ainsi de suite tout au long de la Supply Chain. Le système de point de commande est utilisé afin de déterminer le moment où déclencher les ordres de réapprovisionnement.

Le terme Kanban est un mot japonais qui signifie « *étiquette, fiche, carte* ». Il s'agit d'une fiche ou carte que l'on fixe sur les bacs ou conteneurs de pièces au sein d'une ligne de production ou d'une zone de stockage (Figure 11). A chaque prélèvement de pièces (bacs ou conteneurs) par le poste en aval, la carte remonte au poste en amont lui indiquant que le bac est entamé. Elle donne au poste amont une information sur l'utilisation du bac ou conteneur par le poste aval pour déclencher une production et fournir un autre bac plein.

Elle permet ainsi d'éviter la surproduction et donc la formation de stocks en produisant:

- > le produit demandé
- > au moment où il est demandé
- > à la quantité demandée

La méthode Kanban considère que « Fabriquer prématurément est aussi mauvais que fabriquer en retard. Tous les stocks sont des ennemis pour des raisons financière et d'adaptation à la demande ». Elle consiste à envoyer au poste amont une étiquette (kanban) pour alimenter le poste aval selon le besoin.

Identification de la pièce : BZV 4216 Catégorie : BTR	
Origine : poste 17	Quantité : 6
Destination : poste 24	Minimum : 6 Maximum : 18
Temps de cycle : 25 minutes	

Figure 11: Exemple de kanban

Il existe plusieurs types de kanbans comme le montre la figure 12.

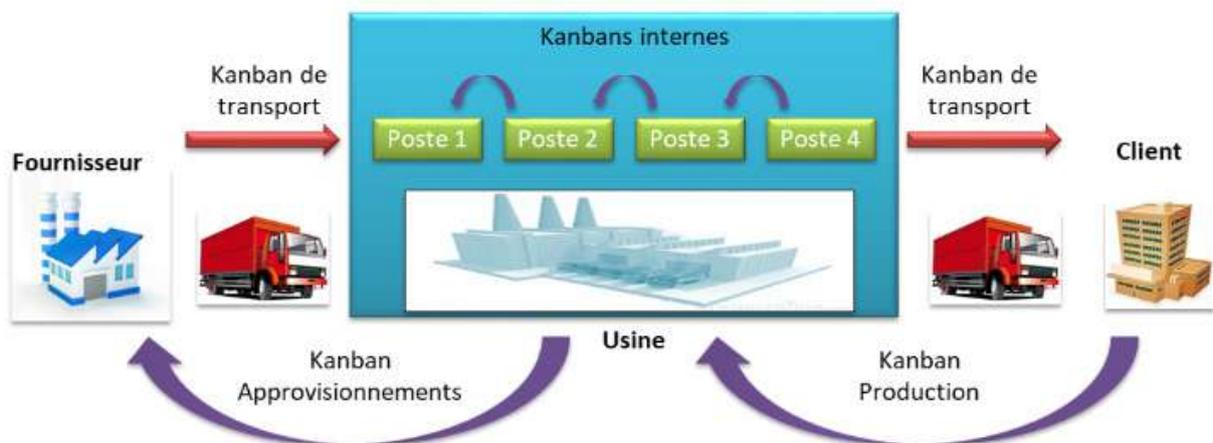


Figure 12: Articulations des différents types de kanbans

Dans un processus de production, cela se traduit par le fait qu'une étape amont ne doit produire que ce qui lui est demandé par son étape aval (Client, poste de production) qui ne doit elle même produire que ce qui lui est demandé par son propre étape aval et ainsi de suite. Dans la gestion de production moderne, il existe deux philosophies fondamentalement différentes pour lancer la fabrication :

- > **Flux poussé (Push)**
- > **Flux tiré (Pull)**

» **Flux poussé (push) :**

Chaque étape travaille en fonction de son programme de fabrication composé d'ordres de fabrication OF sans égard au besoin réel des clients. La production est «poussée» vers l'étape en aval et s'accumule éventuellement sous forme de produits

en cours. La méthode la plus connue pour gérer la production en flux poussé est la méthode MRP (ou MRP II).

» **Flux tendu (pull) :**

Chaque étape ne travaille que si le poste en aval a besoin de composants ou produits. La production est «tirée» de l'aval vers l'amont. La méthode la plus utilisée pour lancer la fabrication en flux tiré est celle de Kanban.

Les deux démarches sont contraires mais complémentaires. Il est possible de les combiner, on parle alors de convivialité MRP - Kanban.

• **Jidoka:**

Le Jidoka (mot japonais) est aussi appelé automatisation aussi bien en Anglais qu'en Français. C'est un terme composé des mots automatisation (automation) et autonomie (autonomy). En effet, il est considéré comme une automatisation avec une intervention de l'intelligence humaine. Il donne à la machine la capacité de détecter automatiquement et très tôt les anomalies sans l'intervention d'un opérateur, de décider de façon autonome de s'arrêter automatiquement et de signaler l'anomalie. Après cette détection, il appartient alors au personnel concerné de déterminer rapidement les causes de l'anomalie et les solutions permettant de l'éliminer de façon pérenne avant de reprendre le fonctionnement de la machine. On sépare ainsi l'homme de la machine pour les actions de détection d'anomalie et d'arrêt de fonctionnement.

Deux principes sont à la base du jidoka:

- > Assurer la qualité du produit en détectant les anomalies dans le processus (par l'utilisation de poka yoke, l'autocontrôle).
- > Ne pas accepter de produire des pièces mauvaises et, de ce fait, arrêter la production plutôt que de continuer à produire des non conformes (en utilisant l'andon et l'automatisation).
- > Le jidoka est une démarche permettant de:
 - > détecter automatiquement très tôt une anomalie et le plus en amont possible dans le processus
 - > arrêter automatiquement la production afin de ne pas continuer à fabriquer des produits non conformes ou continuer à faire fonctionner

une machine dégradée

- › mener une étude afin de déterminer la cause première de l'anomalie
- › trouver la solution convenable pour l'éliminer, la mettre en œuvre et en vérifier l'efficacité
- › Standardiser la solution afin de faire du premier coup à tous les coups.

Lors de la mise en route de la production, au cours de la phase de « ramp up », les problèmes sont nombreux, et la ligne va fréquemment s'arrêter. Ces arrêts peuvent sembler constituer une perte. Cependant cette perte est à mettre en regard des coûts engendrés par le rebut ou les retouches de pièces défectueuses, et du gain apporté par l'éradication des problèmes structurels.

De manière générale, dans le cas d'une activité de procédé (type usinage, soudage...), le principe est d'équiper la machine d'un système d'arrêt automatique, programmé pour se déclencher lorsque les paramètres clefs qui conditionnent la bonne réalisation du produit sortent d'une plage de valeurs nominales. Ces paramètres clefs sont mesurés en équipant la machine de capteurs ad hoc. Des exemples de tels systèmes sont :

- › une fraiseuse qui s'arrête lorsque la fraise est émoussée
- › une imprimante 3D qui s'arrête quand la bobine d'impression est vide ou quand la buse est obstruée
- › un banc de soudure qui s'arrête lorsque les paramètres de soudure (positionnement, intensité) deviennent anormaux

Il est à noter que dans certains cas, on considère le jidoka comme l'automatisation d'opérations délicates ou dangereuses ou difficiles ou sales connues sous le terme 3 K (kiken pour dangereux (dangerous), kitsui pour difficile (difficult), and kitanai pour sale (dirty)).

Le jidoka est appliqué aux processus manuels ou automatiques pour déceler des problèmes tels qu'une dégradation de fonction de machine ou une non conformité de pièce fabriquée. Le jidoka peut être également appliqué à des machines semi-automatisées où un opérateur peut gérer plusieurs machines en même temps, par exemple, dans une ligne «chaku chaku» dans laquelle toutes les machines nécessaires pour réaliser une pièce sont situées dans la bonne séquence et très proches les unes des autres. L'opérateur charge simplement une pièce et passe à l'opération suivante et chaque machine effectue une étape de production différente selon une séquence

préétablie. L'évolution du jidoka est faite selon les étapes de la figure 13.

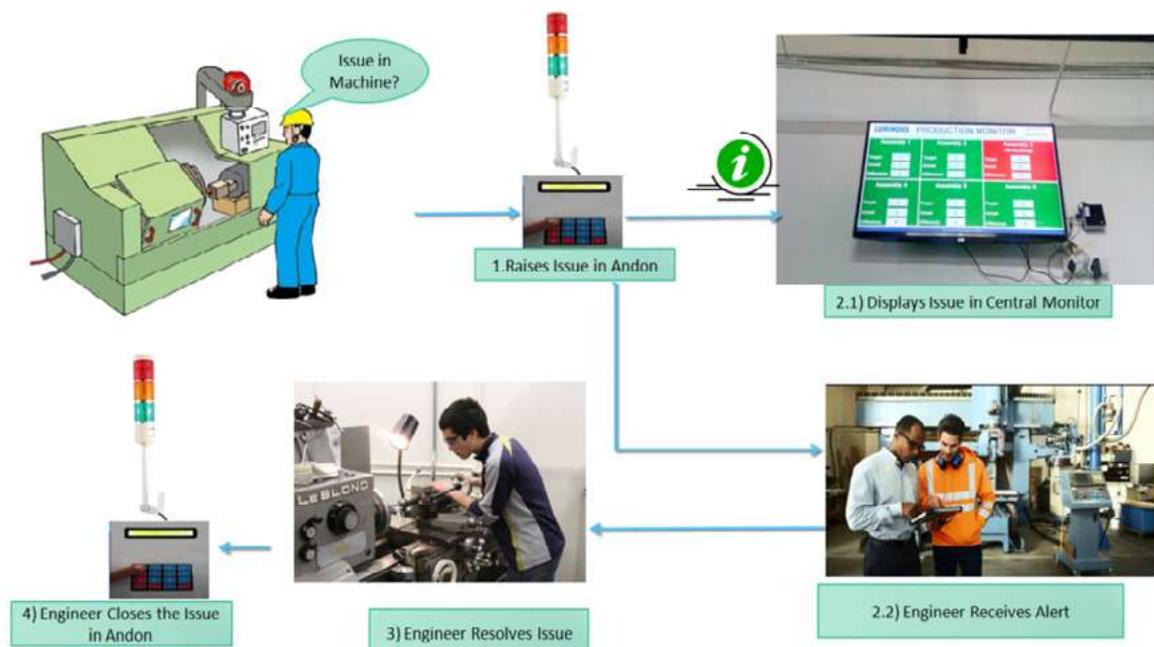


Figure 13: Schéma global du Jidoka

Le superviseur a donc le temps entre la fin du cycle et le prochain point fixe pour réagir et trouver une contre-mesure immédiate au problème. Il est également tenu de conduire une analyse plus poussée afin de remonter à la cause racine et trouver la solution adéquate pour l'éradiquer. Un manuel de formation des superviseurs de Toyota précise que : « Un contremaître qui arrête la chaîne deux ou trois fois à cause du même problème n'est pas digne de sa fonction » L'impératif de résolution des problèmes est sans équivoque. L'opérateur signale l'anomalie, le superviseur doit trouver le remède pour l'éliminer. Tous sont sous pression et tous sont responsables.

Il importe de préciser que, lors d'un arrêt de chaîne, tous les intervenants concernés sont censés accourir sur le terrain pour identifier le problème de visu et déterminer les solutions qui s'imposent. C'est la démarche appelée genchi gembutsu.

Dans les entreprises industrielles à gestion classique, le traitement des anomalies prend du temps du fait qu'on a tendance à traiter les problèmes à tête reposée de façon différée. Cela donne lieu à des arrêts qui durent ou à de nombreux produits non conformes ou à de nombreuses réparations et retouches. A contrario, Toyota favorise une boucle de réaction à très court terme (un cycle de travail) pour éliminer l'anomalie

très rapidement.

- **Critiques du lean classique:**

Le lean classique souffre de plusieurs insuffisances dont on peut citer notamment les suivantes:

- Il n'existe pas de définition de la valeur ni du moyen de la mesurer.
- Il n'existe pas de moyen pour évaluer la satisfaction et ses différents inducteurs.
- On ne connaît pas le coût à prendre en compte: Coût de revient ou life cycle cost ou coût d'activités etc. L'approche coût n'est pas clairement établie dans le lean
- Il n'y a pas de véritable fil conducteur de la démarche lean. C'est un puzzle de méthodes et d'outils sans image homogène et cohérente. Les 5 principes ne peuvent pas constituer une démarche d'autant qu'ils ne sont pas les seuls qui déterminent l'action lean.
- Les muda, muras et muris ne sont pas les seuls existant. Une méthode doit être développée afin d'identifier les pertes et gaspillages et en déterminer les plus critiques qui feront l'objet d'une étude pour leur éradication ou tout au moins leur réduction.
- La relation lean avec le management de la qualité n'est pas clairement établie pour assurer une cohérence d'ensemble et éviter les antagonismes.
- la maison du lean ne correspond pas à la réalité de l'entreprise (les Just -in-Time et jidoka ne sont pas les piliers permettant d'atteindre la perfection: ils sont deux démarche parmi d'autres, les différents qui font l'entreprise ne sont pas mise en évidence, la fondation de la maison n'est pas constitué des 5 M qui constituent ce dont ont besoin les processus.

2. Total lean management:

Le lean management est défini trop souvent comme étant la démarche visant à réduire voire éliminer les pertes ou gaspillages ce qui a justifié son nom en anglais «lean» signifiant maigre. Dans cette définition du lean, on mélange l'objectif visé et les actions pour y arriver. En effet, l'objectif contenu dans la définition classique est de réduire le temps et le coût alors que la réduction voire l'élimination des gaspillages constituent les actions à mener. En fait, selon la littérature disponible sur le sujet et selon la pratique qui en est faite, l'approche lean est beaucoup plus vaste car elle vise à maximiser la valeur apportée au client autant que possible. Cela signifie que le client doit être satisfait du produit et des services associés et que le coût du produit soit le plus réduit possible. La définition qui pourrait être donnée au Lean management est la suivante: «management visant à maximiser la valeur apportée au client par une expérience client». Elle englobe aussi bien les aspects de satisfaction du client par le produit, ses services associés et les émotions qu'il suscite que les coûts occasionnés par le produit durant son cycle de vie. Nous nous proposons d'étudier dans ce qui suit les notions de valeur, de satisfaction et de coût.

La valeur est un jugement porté sur le produit sur la base des attentes et des motivations de l'utilisateur, exprimé par une grandeur qui croît lorsque, toutes choses égales par ailleurs, la satisfaction du besoin de l'utilisateur augmente et/ou que la dépense afférente au produit diminue.

(Norme NF X 50-150)

Bien que la littérature reste vague et peu fournie sur la notion de valeur, qui est pourtant un élément essentiel dans la définition du lean, et en dépit des études que nous avons exposées, il demeure qu'une nouvelle approche de la valeur est nécessaire. Celle que nous préconisons part de la définition de la valeur attendue par le client pour le produit qu'il achète. Cette valeur est bien évidemment sa satisfaction en termes de fonctions, de service associés et de coût donc d'expérience client. Nous préconisons donc que l'expression de la valeur soit:

Valeur = Satisfaction procurée par le produit / Coût généré par le produit

C'est ce qu'on a l'habitude de nommer communément le rapport qualité/prix. Il est évident que le client recherche systématiquement et naturellement le produit présentant le meilleur rapport qualité/prix.

La valeur est donc le fil conducteur ou le fil d'Ariane du concept et de la démarche du lean management que nous préconisons. On constate d'ores et déjà que cette valeur ainsi définie permet de relier le lean à deux grandes approches: l'approche orientée qualité et l'approche orientée coût.

La valeur est donc composée de satisfaction, de temps et de coût (Figure 14)

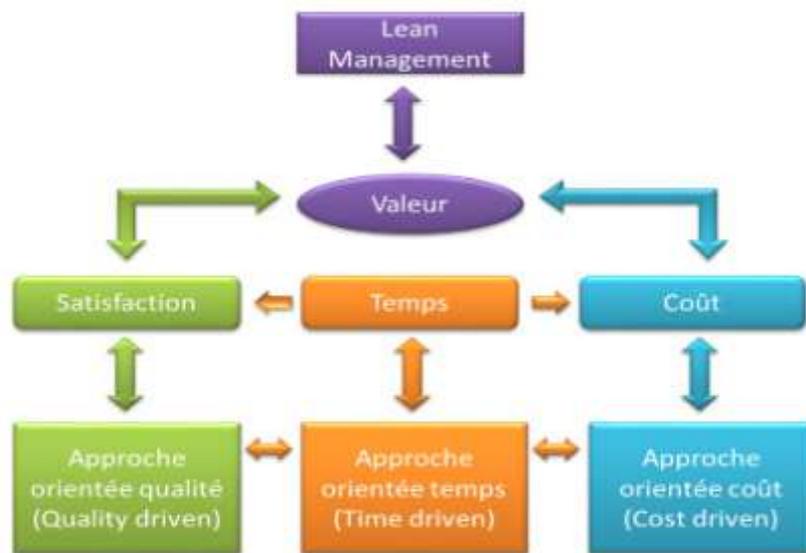


Figure 14: Relation (qualité - lean - finance)

Le client peut être interne ou externe à la livraison de chaque étape du processus cycle de vie. On considère généralement le client final qui est le plus concerné par le produit final et c'est sur ce client que l'entreprise focalise principalement son attention.

Le temps qu'on trouve souvent dans la démarche lean (VSM, diagramme spaghetti, gestion de flux, implantation etc) est une composante qui intervient aussi bien dans le coût que dans la satisfaction (F. En effet, la consommation de temps pour une activité donnée génère automatiquement un coût que ce soit dans le cas d'une ressource humaine ou matérielle. Il intervient aussi dans la satisfaction puisque le délai de livraison est un élément déterminant de celle-ci. Un allongement de ce délai entraîne une insatisfaction qui peut être grande.

Il est évident que la valeur est constituée durant tout le cycle du produit depuis la définition du produit jusqu'à sa fin de vie car ses composantes la satisfaction basée notamment sur la qualité du produit, le temps de mise à disposition du produit et le coût dépendent fortement de de cycle (Tableau 7).

Tableau 7: Parcours de vie de produit et leurs livrables

Processus amont	Processus aval (client)	Livrable
Définition	Conception	Cahier de charge
Conception	Production	Produit et processus conçus
Production	Livraison	Produit fabriqué et conditionné
Livraison	Exploitation	Produit livré, installé et pris en main
Exploitation	Fin de vie	Produit réformé
Fin de vie	2 ^{ème} exploitant	Traitement adéquat de fin de vie

La satisfaction concerne le livrable, ses services associés et les émotions qu'il suscite.

Le coût est le cumul des dépenses de l'étape concernée et de ses étapes antérieures (Figure 15).

Valeur sur tout le cycle de vie

Valeur = Satisfaction sur cycle de vie / Life Cycle Cost LCC

Valeur à une étape X de cycle de vie

Valeur = Satisfaction à l'étape X / coût cumulé à l'étape X

Il est entendu que la satisfaction et le coût pourront être déterminés à priori ou à posteriori:

- > A la livraison, pour les parties exploitation, services et fin de vie, le client ne pourra évaluer les exigences qui les composent qu'en termes de ce qui est prévu (existence de service de maintenance, de fournisseurs de rechanges, de garantie, maintenabilité et fiabilité estimées par le constructeur etc.). En revanche, les exigences fonctionnelles, il pourra les évaluer sur le produit à sa livraison.
- > Après exploitation, le client disposera alors d'informations réelles et pertinentes sur ces étapes d'exploitation, services et fin de vie pour évaluer à postériori la satisfaction globale du produit.

Aussi bien dans le cas du point de vue du client que de celui de l'entreprise, on peut évaluer la satisfaction globale à priori (au stade de la livraison) et à postériori (au stade de l'exploitation).

Néanmoins, on peut faire l'évaluation à priori de façon prévisionnelle sur tout le cycle de vie du produit jusqu'à sa fin de vie en passant par son exploitation. En effet, l'entreprise

pourra et devra faire cette évaluation à priori sur tout le cycle de vie du produit afin de satisfaire davantage le client en agissant sur tout ce qui jalonne ce cycle pour l'améliorer et en réduire le coût dans le but d'augmenter la valeur pour le client.

- **Lean sur tout le parcours du produit:**

Comme nous l'avons déjà précisé, le lean est l'approche consistant à maximiser la valeur apportée au client. Cette valeur est le rapport de la satisfaction apporté par le produit sur le coût généré par le produit. Il est évident que cette valeur est construite le long de tout le parcours du produit où chaque étape apporte sa contribution en termes de satisfaction et de coût. Le lean concerne les différentes étapes du parcours du produit. On parlera alors de lean marketing, lean design, lean manufacturing, lean logistics, lean maintenance etc (Figure 15).

Un produit, ou de façon générale un bien, traverse un ensemble d'étapes durant son cycle de vie: Définition, conception et développement, livraison, exploitation, maintenance et fin de vie. Dans le but de maximiser la valeur apportée au client par ce bien, il est nécessaire de maximiser la satisfaction du client tout en minimisant les coûts et ce, sur tout le cycle de vie du bien et donc au niveau de chacune de ses étapes.

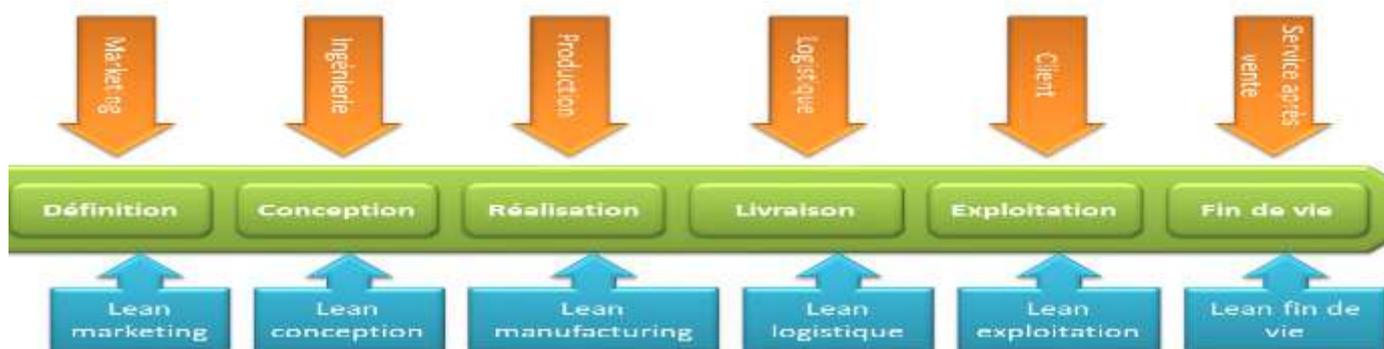


Figure 15: Valeur en différentes étapes du cycle de vie de produit

- **Le Lean sur tous les environnements de l'organisme:**

Chaque entreprise possède deux environnements: interne et externe (Figure 16).

- Interne: il est constitué des fonctions internes de l'entreprise, de ses processus et des 5 M qui les font fonctionner. Appliqué à toutes les composantes de cet environnement interne, le lean est dit total (Total

lean management)

- Externe: Il comporte les autres entreprises, les administrations, les milieux économique, social, écologique, technologique, culturel etc.

Le lean les concernent tous car ils sont liés à l'entreprise l'influencent et en subissent l'impact. Ils ont des clients qui doivent être satisfaits par des produits ou des services et ils génèrent des coûts donc ils ont une valeur pour leur client. Appliqué à toutes les composantes de cet environnement externe, le lean est dit global (global lean management).



Figure :16 lean total et lean global

- **Lean et toutes les exigences du client**

Un produit ou un bien n'est jamais seul dans sa relation avec le client. Il est associé toujours à des services (conseil, contact, formation, SAV etc). Il est également associé à des émotions qu'il suscite chez le client donc à l'expérience client de façon globale (Figure 17). C'est l'ensemble de ces trois éléments qui contribuent à la satisfaction du client. Le lean porte donc naturellement sur ces éléments tant à travers la satisfaction qu'ils procurent qu'à travers les coûts qu'ils génèrent.

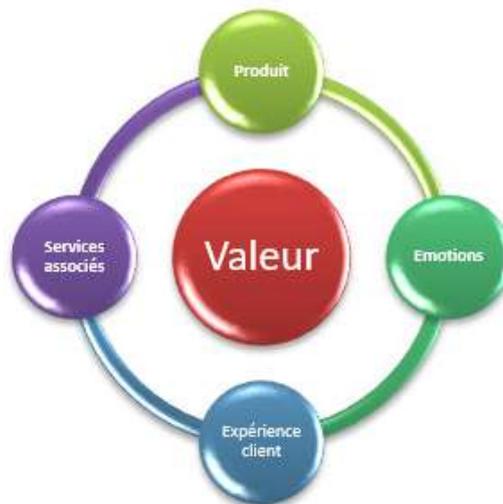


Figure 17: Lean et exigences

- **Lean et tous les processus**

Le lean est une démarche transversale qui concernent tous les processus de l'entreprise qu'ils soient de management, de support ou opérationnels car chacun de ces processus possède des clients et est composés d'activités (Figure 18). Il est donc logique que l'ont parle pour ces processus de satisfaction de client, d'une part, et de coûts, d'autre part don de valeur apportée au client.

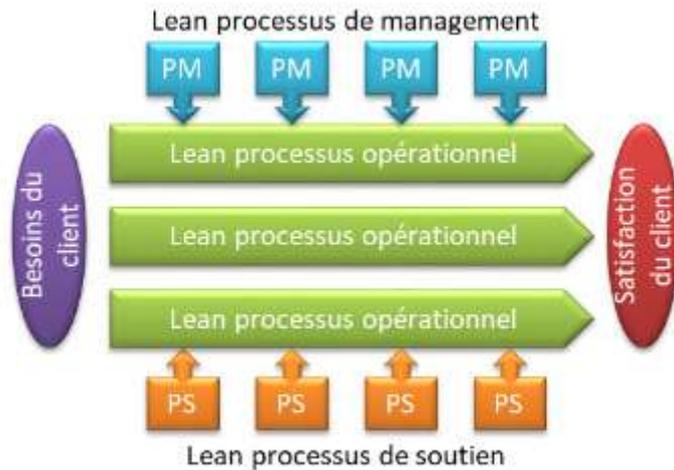


Figure 18: Lean et processus

- **Lean et tous les 5 M:**

Tout processus de l'entreprise possède des clients à satisfaire et utilise pour réaliser le produit des activités exploitant les 5M (main-d'œuvre, matériel, matière, méthode et milieu) qui contribuent à la satisfaction des besoins du client mais qui génèrent des coûts. On peut donc parler de valeur apportée par chacun des 5 M (Figure 19).

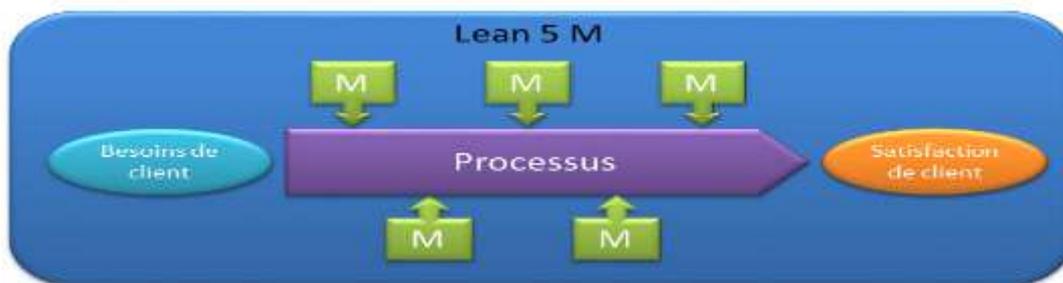


Figure 19: Lean et 5 M

- **Lean et toutes les fonctions:**

Dans toute entreprise coexistent et interagissent une organisation verticale avec des fonctions telles que la finance, les ressources humaines, la qualité, la production, la maintenance, la logistique, l'informatique, les achats etc et une organisation transversale composée des processus de l'entreprise de management, de soutien et opérationnels. Le lean les concernent toutes les deux car chacune de leurs activités a des clients et doit les satisfaire et présente un coût (Figure 20).



Figure 20: Lean, fonctions et processus

- **Lean et tous les objectifs:**

Le lean concerne tous les objectifs que l'on peut fixer pour un produit: qualité fonctionnelle et de service, temps et coût. le lean vise de façon concomitante (Figure 21):

- > la satisfaction par la qualité fonctionnelle et des services associés
- > les temps qui doivent être les plus réduits possibles à toutes les étapes du cycle de vie du produit
- > le coût qui doit être lui aussi le plus réduit possible.

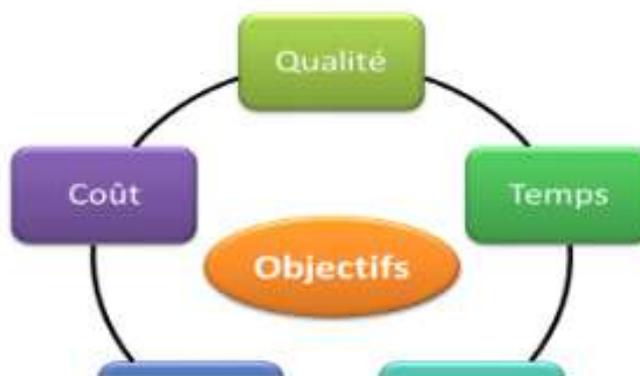


Figure 21: Lean et objectifs

- **Le lean et tous les niveaux fonctionnels**

Le lean doit intervenir aussi à tous les niveaux fonctionnels avec un objectif qui est fixé en haut et déclinée en bas. Les objectifs peuvent être également réalisés en bas et consolidés vers le haut. Toutes les décisions à tous les niveaux de l'entreprise doivent être alignées sur un objectif lean décliné et déployé dans toute l'organisation (Figure 22).



Figure 22: Le lean sur tous les niveaux fonctionnels

- **Le lean pour toute l'expérience client:**

L'une des composantes fondamentales du lean est la satisfaction du client. Celle-ci est obtenue par un produit satisfaisant les exigences du client en termes de spécifications technique, de services associés et plus globalement d'expérience client qui cherche à ce que tous les points de contact du client avec le produit et l'entreprise soient satisfaisants (Figure 23).



Figure 23: Le Lean sur toute l'expérience client

- **Le lean sur toutes les étapes d'étude:**

Les étapes d'étude d'une situation ou d'un problème sont celles portées par la figure 26. Il est entendu que chacune de ces étapes devra être lean afin de trouver les solutions qui s'imposent (satisfaction) au moindre temps et coût.

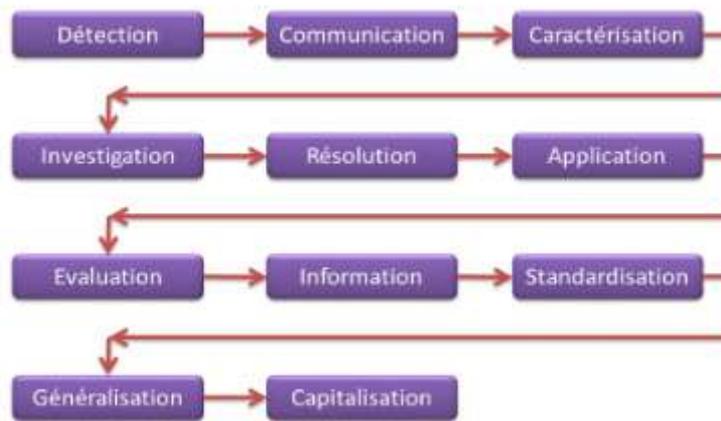


Figure 26: Etapes d'étude de situation ou de problème

3. Lean 4.0

- **Intégration lean- technologie 4.0**

Aujourd'hui le monde est caractérisé par l'utilisation de deux grandes disciplines: le lean management et l'industrie 4.0. Il est naturel de se poser la question d'intégration des deux. Etant donné que l'industrie 4.0 est surtout un ensemble de technologies visant à mieux réaliser les processus de l'entreprise, il est logique d'étudier l'impact de ces technologies sur la démarche lean et comment en faire des leviers de performance. Or, la démarche lean est basée sur les approches suivantes:

- > les 5 principes
- > les pertes 3 M
- > la maison lean

L'industrie 4.0 est basée sur l'utilisation de technologies de digitalisation qui sont les suivantes:

- > QR Code
- > RFID
- > Capteurs et capteurs intelligents

- > Cyber physical systems CPS
- > Internet des objets IoT
- > Big data
- > Cloud computing et edge computing
- > Data science et data mining
- > Intelligence artificielle et machine learning
- > Robots collaboratifs (cobots)
- > Simulation numérique et jumeau numérique (digital twin)
- > Fabrication additive-impression 3D
- > Intégration horizontale et verticale
- > Cybersécurité

L'intégration du lean management avec l'industrie 4.0 peut être appréhendée en identifiant les activités qui jalonnent toute activité et étudier les technologies 4.0 exploitées ou pouvant l'être dans chacune de leurs étapes. Pour étudier toute situation ou tout problème, les étapes à considérer sont les suivantes. Pour mieux comprendre cette démarche, on l'applique au cas d'une panne (Tableau 8)

Tableau 8: Les actions génériques et les outils 4.0 utilisés

Actions	Outils 4.0
Détection du problème	Capteurs, capteurs intelligents, RFID, andons, poka yoke
Communication sur le problème	M2M, H2M, IoT
Caractérisation du problème	KM, analytics, simulation, digital twin
Investigation - Recherches des causes	Analytics, IA, RA
Résolution- recherche de solution	KM, IA, simulation, digital twin
Application de solution	M2M, H2M, IoT, CPS, poka yoke, fabrication additive, RA, robots
Evaluation des résultats	M2M, IoT, Capteurs, capteurs intelligents, IA, Analytics, RA, simulations, digital twin
Information sur les actions et les résultats	M2M, H2M, RA, KM, andon
Standardisation de la solution	KM, IA, simulation, digital twin
Généralisation de la solution	KM, IA, simulation, digital twin
Capitalisation de la solution	KM, RA



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



MANAGEMENT DE LA QUALITE ET SIX SIGMA

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Said EL FEZAZI
EST de Safi

Le management de la qualité est une approche qui vise à assurer que les produits ou services d'une entreprise répondent aux attentes des clients en termes de qualité. Pour atteindre cet objectif, il se concentre sur la mise en place de processus efficaces, l'amélioration continue, et la participation de tous les employés. L'orientation client est un aspect clé du management de la qualité. En se concentrant sur les besoins des clients, les entreprises peuvent créer des produits et des services qui répondent mieux à leurs attentes.

INTRODUCTION

Le management de la qualité représente une démarche d'amélioration continue de la qualité des produits et des services proposés par une entreprise. Cette approche méthodique vise à répondre aux besoins et aux attentes des clients tout en respectant les normes et les réglementations en vigueur. L'axe principal du management de la qualité est centré sur le client. En effet, le processus de gestion de la qualité débute dès l'étape de la définition du cahier de charge fonctionnelle du produit ou du service. Cette étape clé permet de définir les exigences du client en termes de qualité, de performances, de coût et de délais.

Une fois le cahier de charge fonctionnelle défini, l'entreprise doit s'assurer que toutes les étapes de la création du produit ou du service sont réalisées dans le respect des exigences du client. Cela comprend la préparation, la réalisation et le contrôle du produit ou du service. Chaque étape doit être minutieusement contrôlée pour s'assurer que le produit ou le service respecte les normes de la qualité, les réglementations et les exigences du client. [1],

Une fois le produit ou le service réalisé, il doit être transporté et livré au client. Le processus de gestion de la qualité ne s'arrête pas là. L'entreprise doit mesurer la satisfaction de ses clients pour mettre à jour le cahier de charge fonctionnelle et de déclencher le cycle de l'amélioration continue.[2]

Ce cycle est un processus continu d'identification des problèmes de la qualité, de mise en place de solutions et de suivi des résultats pour s'assurer que les améliorations sont efficaces. Ce cycle est interrompu par l'innovation d'un nouveau produit totalement différent, répondant aux besoins et aux attentes des clients de manière plus satisfaisante.

Dans ce contexte, une entreprise compétitive est une entreprise qui est capable de produire des produits de haute qualité à un coût de revient inférieur à celui de ses concurrents, tout en étant en mesure de faire le cycle de production le plus rapidement possible.

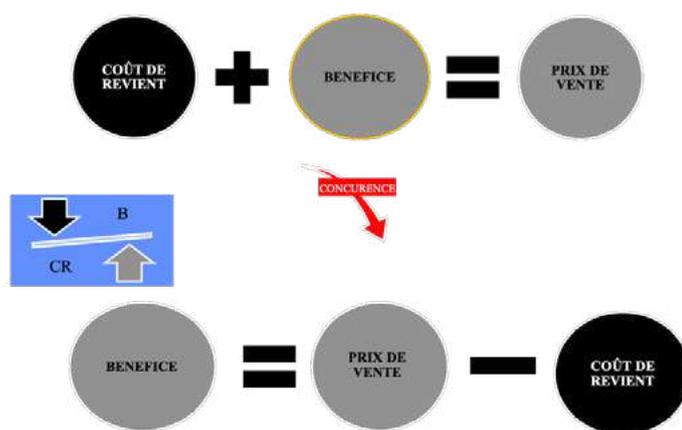


Fig1 : évolutions des pratiques d'entreprise dans un climat concurrentiel

Par ailleurs, l'uniformité est une caractéristique importante de la qualité, elle permet de garantir que les produits ou services, de mêmes références, répondent toujours aux mêmes normes et standards de qualité. L'absence d'uniformité peut entraîner des variations dans la qualité des produits ou services, ce qui peut nuire à la satisfaction des clients et à la réputation de l'entreprise.[3 ;4]

L'objectif de l'approche Six Sigma est de parvenir à une uniformité maximale des processus de l'entreprise, de sorte que les produits ou services soient toujours conformes aux normes de qualité définies. Cette uniformité peut être mesurée à l'aide d'un indicateur appelé le taux de défauts, qui représente le pourcentage de produits ou services non conformes aux normes de qualité. En utilisant l'approche Six Sigma, les entreprises peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle, réduire les coûts, améliorer la satisfaction des clients et renforcer leur compétitivité sur le marché. Elle est donc un outil performant pour atteindre l'uniformité dans la qualité des produits ou services de l'entreprise.[5 ;6]

Le Six Sigma est également une méthode de gestion des risques. En identifiant les facteurs qui peuvent influencer la qualité des produits ou des services, les entreprises peuvent réduire les risques liés aux défauts. Ainsi, Elles peuvent s'assurer que leurs processus sont alignés sur les besoins de leurs clients et qu'ils sont capables de fournir des produits et des services de qualité constante. [7]

I. Concepts et Ecole de la qualité

L'une des écoles de pensée les plus influentes dans le domaine du management de la qualité est l'école de W. Edwards Deming. Il a développé une philosophie de la qualité basée sur quatre principes clés : la connaissance, l'attitude, les méthodes et les résultats. Selon Deming, l'amélioration de la qualité ne peut être atteinte que par une compréhension complète de la nature des processus de production et par l'engagement de tous les membres de l'entreprise à atteindre les objectifs de qualité. [8,9]

Un autre théoricien important dans le domaine du management de la qualité est Joseph M. Jurin. Il a développé la notion de « qualité totale », qui met l'accent sur l'implication de tous les membres de l'entreprise dans l'amélioration de la qualité. Il a également mis en évidence l'importance de la planification de la qualité, de l'amélioration de la qualité et de la gestion de la qualité pour atteindre une qualité supérieure et durable.[10,11,12]

Un troisième théoricien important est Philip Crosby, qui a développé la philosophie de « la qualité est gratuite ». Selon Crosby, l'amélioration de la qualité ne nécessite pas nécessairement des investissements financiers importants, mais plutôt une attitude d'engagement envers la qualité dans tous les aspects de l'entreprise. Il a également introduit l'idée de zéro défaut, qui met l'accent sur la prévention plutôt que sur la correction des défauts.[13]

Un quatrième théoricien important est Kaoru Ishikawa, qui a développé la méthode d'analyse de cause à effet pour résoudre les problèmes. Ishikawa a également mis en évidence l'importance de la participation des travailleurs à la résolution de problèmes, ainsi que l'importance de l'identification et de la résolution des problèmes dès leur apparition..[14]

En fin, Joseph Kelada, un théoricien contemporain qui a créé la méthode «QualityElevation», mettant en avant l'utilisation de technologies avancées pour améliorer la qualité des produits et services, ainsi que pour évaluer la performance. Kelada a également introduit le concept d'équilibre de satisfaction entre les différentes parties prenantes de l'entreprise, y compris les clients, les actionnaires, les fournisseurs et les employés.[15]

En résumé, les écoles de pensée du management de la qualité ont toutes apporté leur propre contribution à la compréhension de la qualité et à l'amélioration des processus de production. En comprenant les différentes philosophies et méthodologies, les entreprises peuvent adopter une approche plus globale pour améliorer leur qualité et rester compétitives dans un marché en constante évolution.

En effet, les exigences des clients ne se limitent pas seulement aux consommateurs finaux, mais s'étendent à toutes les parties prenantes impliquées dans l'entreprise. Les actionnaires, les employés, les fournisseurs, les partenaires commerciaux et les communautés locales sont tous des parties prenantes importantes dont les exigences doivent être prises en compte pour assurer le succès durable de l'entreprise.

Les actionnaires attendent des rendements financiers élevés sur leur investissement, ce qui signifie que l'entreprise doit générer des profits et maintenir sa croissance à long terme. Les employés s'attendent à un environnement de travail sûr, équitable et satisfaisant, ainsi qu'à des opportunités de formation et de développement de carrière. Les fournisseurs s'attendent à être traités équitablement et à être payés à temps, tout en fournissant des produits et services de haute qualité.

Les partenaires commerciaux s'attendent à des relations de confiance et de collaboration pour atteindre des objectifs mutuels. Les communautés locales s'attendent à ce que l'entreprise soit un bon citoyen en respectant les lois et les réglementations, en réduisant son impact environnemental et en contribuant à des initiatives sociales et communautaires.

En résumé, les exigences des parties prenantes sont essentielles pour assurer la viabilité à long terme de l'entreprise et pour maintenir sa réputation et sa compétitivité sur le marché. Les entreprises doivent donc prendre en compte les besoins et les attentes de toutes les parties prenantes dans leur stratégie globale et dans la conception de leurs produits et services.

II. L'impératif de l'amélioration continue et de l'innovation dans les entreprises modernes.

L'amélioration continue des produits est cruciale pour maintenir la qualité et la compétitivité des services fournis par les entreprises. Cependant, l'innovation est nécessaire pour offrir de nouvelles fonctionnalités, des avantages concurrentiels et des produits ou services qui répondent à des besoins ou des désirs des clients qui n'ont

pas encore été comblés.

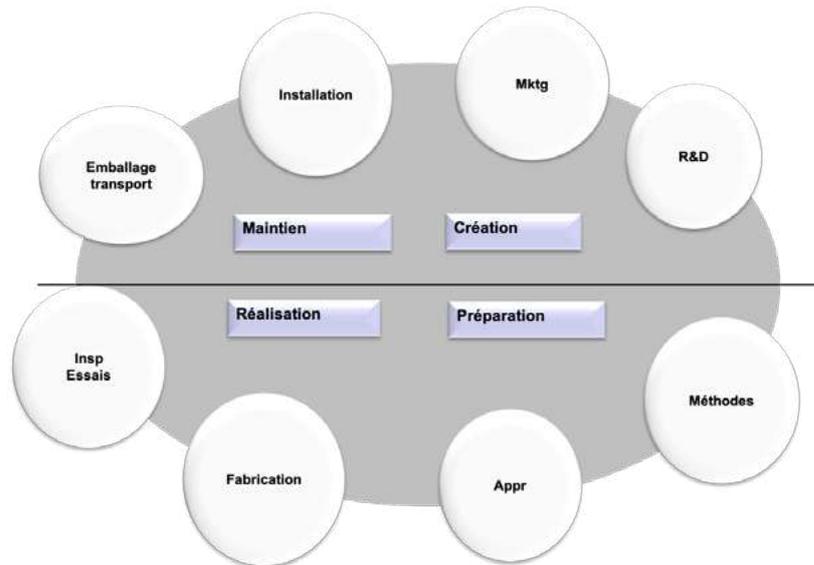


Fig2 : cycle de vie d'un produit et orientation client

Les clients ont des attentes élevées et cherchent constamment des solutions plus avancées et plus efficaces pour leurs besoins. Si une entreprise ne parvient pas à innover et à fournir des produits et services novateurs qui répondent à ces attentes, elle risque de perdre sa part du marché au profit de concurrents plus innovants.

En outre, l'innovation peut aider une entreprise à se différencier de ses concurrents, à se positionner comme un leader dans son secteur et à attirer de nouveaux clients. Elle peut également permettre à l'entreprise d'augmenter ses revenus et ses marges bénéficiaires en proposant des produits et services innovants qui peuvent être vendus à un prix plus élevé.[16,17]

En somme, bien que l'amélioration continue soit importante pour maintenir la qualité et la compétitivité des produits, l'innovation est essentielle pour répondre aux attentes potentielles des clients, se différencier de la concurrence et stimuler la croissance de l'entreprise.

Ainsi, le Kaizen et le Reengineering sont deux approches de gestion de la qualité qui visent toutes les deux à améliorer les processus de l'entreprise, mais ils diffèrent dans leur approche et leur objectif.

Le Kaizen est une méthode d'amélioration continue qui vise à optimiser les processus existants en apportant des améliorations incrémentales. Il s'agit d'un processus de changement graduel et continu qui implique l'ensemble des employés de l'entreprise.

Le Kaizen est souvent associé à une culture d'amélioration continue et à une recherche constante de l'excellence opérationnelle.

Le Reengineering, en revanche, est une méthode de transformation radicale qui vise à revoir complètement les processus existants pour obtenir des gains de productivité significatifs. Il s'agit d'une approche plus radicale qui implique souvent des changements majeurs dans l'organisation, la technologie et la culture de l'entreprise. Le Reengineering cherche à créer des processus totalement nouveaux et souvent plus efficaces en partant de zéro, plutôt que de simplement améliorer les processus existants.



Fig3 : complémentarité Kaizen et l'innovation

Ces deux approches peuvent être complémentaires dans certains cas. Par exemple, une entreprise peut commencer par utiliser l'approche Kaizen pour apporter des améliorations continues à ses processus existants, puis passer à une approche de Reengineering pour repenser complètement ces processus et les rendre encore plus efficaces. De plus, l'utilisation de l'approche Kaizen peut aider à créer une culture d'amélioration continue qui facilite l'adoption de l'approche de Reengineering.

L'impact des contraintes contemporaines sur les attentes et les besoins des clients en entreprise.

De nos jours, Les normes des systèmes de management de la qualité sont des outils essentiels pour garantir la satisfaction des clients et l'amélioration continue des processus dans une entreprise. Ces normes sont basées sur les concepts de la qualité

totale, qui mettent l'accent sur l'engagement de l'ensemble de l'organisation dans la recherche de l'excellence.[18, 19]

Des exigences des normes de la qualité sont classées en exigences sectorielles, afin de répondre aux besoins spécifiques de chaque domaine d'activité. Les normes de qualité ont pour but de définir les exigences minimales pour un système de management de la qualité efficace, afin d'assurer la satisfaction des clients, l'amélioration continue et la conformité réglementaire. Elles encouragent également les entreprises à se concentrer sur les processus, plutôt que sur les produits finis.

En conclusion, les normes des systèmes de management de la qualité sont des outils essentiels pour toute entreprise souhaitant améliorer sa qualité, sa performance et sa satisfaction client. En adaptant les exigences de ces normes aux besoins spécifiques de leur secteur d'activité, les entreprises peuvent être sûres de fournir des produits et des services de qualité supérieure tout en restant agiles et compétitives

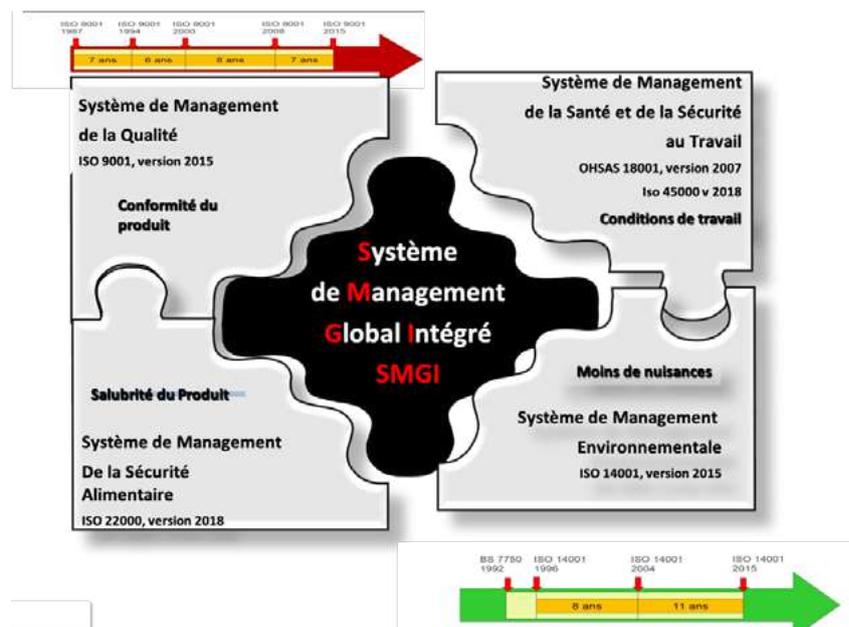


Fig4 : évolutions des besoins client

Dans ce contexte, les besoins et les attentes des clients se sont élargis au-delà des produits et services eux-mêmes, et incluent désormais la sécurité, la santé et l'environnement dans lesquels ces produits et services sont fournis. Les entreprises sont tenues de garantir la sécurité et la santé de leurs employés, ainsi que de minimiser leur impact environnemental, tout en fournissant des produits et services de haute qualité.

Pour répondre à ces besoins supplémentaires, des normes telles que ISO 14001 pour la gestion environnementale, et ISO 45001 pour la gestion de la santé et de la sécurité au travail ont été élaborées.

En mettant en œuvre ces normes, les entreprises peuvent non seulement répondre aux besoins et aux attentes de leurs clients, mais également renforcer leur réputation en matière de responsabilité sociale et environnementale, tout en améliorant leur efficacité et leur rentabilité.

En effet, la norme ISO 9001, dans sa version de 2015, vise à assurer la satisfaction des parties prenantes, y compris les clients, les employés, les actionnaires et les fournisseurs, en garantissant que les produits et services répondent à leurs besoins et attentes. Cependant, pour répondre aux besoins croissants des parties prenantes en matière de sécurité, de santé et d'environnement, de nombreuses organisations ont adopté des systèmes intégrés QSE (Qualité, Sécurité, Environnement) basés sur les normes ISO 9001, ISO 14001 et ISO 45001.

Ces normes sont régulièrement révisées pour s'adapter aux évolutions du marché et des attentes des parties prenantes. Bien qu'il n'y ait pas encore d'annonce officielle sur les prochaines révisions, il y a certaines exigences qui pourraient être intégrées dans la norme ISO 9001, par exemple, lors de la prochaine révision, basées sur les tendances actuelles du marché, à savoir:

- L'innovation : Il pourrait y avoir une exigence plus forte pour les organisations à promouvoir l'innovation dans leur système de management de la qualité, en reconnaissant l'importance de l'innovation pour la croissance et la compétitivité de l'entreprise.
- La gestion des connaissances : Il pourrait y avoir une exigence plus forte pour les organisations à gérer leur connaissance interne et externe pour assurer une meilleure performance à long terme.
- La transformation numérique : Il pourrait y avoir une exigence plus forte pour les organisations à intégrer la transformation numérique dans leur système de management de la qualité, en reconnaissant l'importance de la technologie dans l'amélioration des processus et de la qualité.

Cependant, bien que ces normes soient utiles pour définir les exigences de la qualité, elles ne fournissent pas toujours les méthodes et les outils spécifiques pour y parvenir

de manière efficace et efficiente. C'est ici que les outils d'excellence opérationnelle entrent en jeu pour pallier ces lacunes. L'approche Six Sigma, en particulier, offre des outils avancés pour améliorer la qualité et la productivité des processus opérationnels. En utilisant cette méthode, les entreprises peuvent évaluer la performance de leurs processus et suivre leur évolution dans le temps pour atteindre des niveaux de qualité supérieurs. En outre, cette approche complète de manière essentielle les normes de management de la qualité en permettant d'atteindre l'excellence opérationnelle.

En effet, le Six Sigma est une méthodologie de gestion de la qualité qui vise à réduire la variabilité des processus de l'entreprise pour améliorer la qualité de ses produits ou services. Elle s'appuie sur une analyse statistique rigoureuse pour identifier les sources de variation et les éliminer ou les réduire.

L'objectif principale de cette approche est de parvenir à une uniformité maximale des processus de l'entreprise, de sorte que les produits ou services soient toujours conformes aux normes de qualité définies. Cette uniformité peut être mesurée à l'aide d'un indicateur appelé le taux de défauts, qui représente le pourcentage de produits ou services non conformes. En utilisant l'approche Six Sigma, les entreprises peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle, réduire les coûts, améliorer la satisfaction des clients et renforcer leur compétitivité sur le marché.

III. Six Sigma : Concept et Origine de l'Approche

Le terme «Six Sigma» fait référence à une norme de qualité qui équivaut à une probabilité de 99,99966% que le produit ou service fourni soit conforme aux normes de qualité définies. Cette norme est considérée comme un objectif de qualité très élevé, car elle implique que le processus de production ne génère que 3,4 défauts par million d'opportunités.

L'origine de l'approche Six Sigma remonte aux années 1980, lorsque Motorola a commencé à utiliser des outils statistiques pour améliorer la qualité de ses produits. La méthodologie a été formalisée dans les années 1990 par Motorola et General Electric (GE), qui ont développé des programmes de formation et de certification pour diffuser cette approche à travers leurs entreprises.[20, 21]

L'approche Six Sigma repose sur cinq phases principales, qui sont souvent désignées par l'acronyme DMAIC :

1. Définir : Cette phase consiste à définir le problème à résoudre, les objectifs de qualité à atteindre et les indicateurs de performance à utiliser pour mesurer le succès du projet.
2. Mesurer : Cette phase consiste à mesurer la performance actuelle des processus, à identifier les sources de variation et à déterminer l'étendue du problème.
3. Analyser : Cette phase consiste à analyser les données collectées pour identifier les causes profondes des problèmes et les facteurs qui contribuent à la variabilité des processus.
4. Améliorer : Cette phase consiste à concevoir et à mettre en œuvre des solutions pour éliminer ou réduire les sources de variation et améliorer la qualité des produits ou services.
5. Contrôler : Cette phase consiste à mettre en place des mécanismes de contrôle pour maintenir les gains obtenus et surveiller la performance des processus à long terme.



Fig5 : six sigma une methode

Elle est souvent utilisée dans les entreprises de fabrication, mais elle peut également être appliquée à d'autres types d'activités, comme les services ou la gestion de projet.

Par ailleurs, Six Sigma est à la fois une métrique de qualité, une méthode de gestion de la qualité et une organisation des compétences.

En tant que métrique, Six Sigma mesure la capacité des processus à produire des résultats conformes aux spécifications. Elle implique que le taux de défauts est extrêmement faible, soit seulement 3,4 défauts pour un million d'opportunités, ce qui est considéré comme un niveau de qualité très élevé.

En tant que méthode, Six Sigma est une approche structurée de gestion de la qualité qui utilise des outils statistiques et une démarche en cinq phases (DMAIC) pour réduire la variabilité des processus et améliorer la qualité des produits ou services.

Enfin, en tant qu'organisation des compétences, Six Sigma est une approche qui nécessite la mise en place d'une équipe d'experts, appelée «Black Belt», qui est chargée de diriger les projets Six Sigma et de former les employés de l'entreprise à l'utilisation des outils statistiques et des méthodologies Six Sigma. Il existe également des «Green Belts» et des «Yellow Belts», qui sont des niveaux inférieurs d'expertise.



Fig6 : six sigma une organisation de compétences

Le niveau de qualité requis pour être considéré comme processus «Six Sigma» est donc très élevé, et correspond à une performance très proche de la perfection. Cependant, certaines entreprises ont réussi à atteindre des niveaux de qualité encore plus élevés, en utilisant des méthodes et des outils encore plus avancés que Six Sigma. Le niveau de qualité le plus élevé jamais atteint à ce jour est de 12 Sigma, soit un taux de conformité de 99,9999999998%.

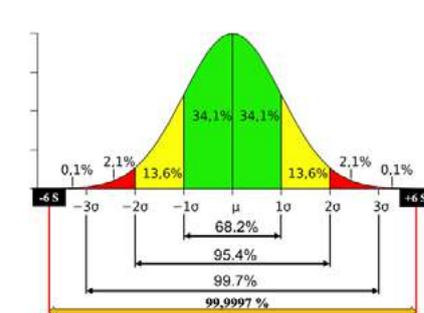


Fig7 : six sigma une métrique de la qualité

Il convient toutefois de noter que les niveaux de qualité supérieurs à Six Sigma sont généralement difficiles à atteindre et ne sont pas toujours pertinents pour tous les processus. En effet, il est important de trouver un équilibre entre la qualité et les coûts, et d'évaluer la pertinence de viser des niveaux de qualité extrêmement élevés en fonction des besoins et des objectifs de l'entreprise.

En conclusion, Six Sigma est une métrique de qualité, une méthode de gestion de la qualité et une organisation des compétences visant à améliorer la qualité des produits ou services en réduisant la variabilité de ses processus.

Succès d'implémentation de la méthodologie Six Sigma dans une entreprise : Retour sur investissement et gains de productivité à long terme

De nombreuses grandes entreprises ont réussi à atteindre un niveau de qualité Six Sigma dans certains de leurs processus [22] :

- Motorola : l'entreprise qui a développé Six Sigma dans les années 1980 a réussi à atteindre le niveau Six Sigma dans certains de ses processus clés.
- General Electric : sous la direction de son ancien PDG, Jack Welch, GE a utilisé Six Sigma pour améliorer la qualité de ses processus et de ses produits. GE a également créé un programme de certification Six Sigma pour former ses employés à cette méthode.
- Ford : l'entreprise automobile a utilisé Six Sigma pour améliorer la qualité de ses véhicules et réduire les coûts de production.
- Amazon : la société de commerce électronique a utilisé Six Sigma pour améliorer l'efficacité de ses processus logistiques et de ses centres de distribution.

- Caterpillar : l'entreprise de fabrication d'équipements de construction a utilisé Six Sigma pour améliorer la qualité de ses produits et réduire les coûts de production.

Il est important de noter que le niveau de la qualité Six Sigma est un objectif à long terme et que les entreprises visent généralement à atteindre ce niveau dans certains de leurs processus clés plutôt que dans l'ensemble de leur entreprise.

La durée de mise en place de Six Sigma varie en fonction de la taille de l'entreprise, du niveau de complexité des processus et de la disponibilité des ressources. Cela peut prendre de plusieurs mois à plusieurs années pour que l'ensemble de l'entreprise adopte la méthodologie Six Sigma et voit des résultats significatifs.

En ce qui concerne les gains réalisés suite à la mise en place de Six Sigma, il est important de noter que ces gains dépendent de l'entreprise et des processus spécifiques qui ont été améliorés. Cependant, voici quelques exemples de gains réalisés par des entreprises qui ont mis en place Six Sigma :[22]

- Motorola a signalé un gain de 17 milliards de dollars en économies et en recettes supplémentaires sur une période de 11 ans grâce à l'adoption de Six Sigma.
- General Electric a signalé des économies de plus de 12 milliards de dollars sur une période de cinq ans grâce à l'adoption de Six Sigma.
- Honeywell Aerospace a signalé des économies de plus de 800 millions de dollars grâce à l'adoption de Six Sigma.
- Bank of America a signalé des économies de plus de 2 milliards de dollars grâce à l'adoption de Six Sigma.
- Caterpillar a signalé des économies de plus de 500 millions de dollars grâce à l'adoption de Six Sigma.

Il est important de noter que les gains réalisés varient en fonction des processus améliorés, des coûts initiaux de mise en place de Six Sigma et de la mesure de la performance avant et après la mise en place de la méthodologie.

IV. approche intégrée de l'excellence opérationnelle : Six Sigma, Lean et TOC»

L'approche Six Sigma, le Lean et la Théorie des Contraintes (TOC) sont trois outils d'excellence opérationnelle complémentaires qui, lorsqu'ils sont utilisés ensemble,

peuvent aider les entreprises à améliorer leur performance opérationnelle, leur qualité et leur rentabilité.

Six Sigma est une approche qui utilise des méthodes statistiques avancées pour identifier et éliminer les sources de variation dans les processus d'une entreprise, avec pour objectif ultime de réduire les défauts de qualité à moins de 3,4 pour un million d'occurrences. Cette méthode permet à l'entreprise d'obtenir des résultats quantifiables et de réaliser des économies importantes en termes de temps, de coûts et de ressources.

Le Lean, quant à lui, se concentre sur la réduction du gaspillage et l'optimisation des flux de travail dans les processus de l'entreprise. Cette méthode vise à éliminer les activités à faible valeur ajoutée, à minimiser le temps de traitement et à maximiser l'efficacité de la chaîne de production.

Enfin, la Théorie des Contraintes (TOC) identifie les contraintes dans les processus de l'entreprise et cherche à les résoudre pour améliorer la performance globale de l'entreprise. La méthode TOC vise à maximiser la capacité de production en éliminant les goulots d'étranglement et en optimisant l'utilisation des ressources disponibles.[23, 24, 25]

LEAN, TOC & Six sigma : LTS

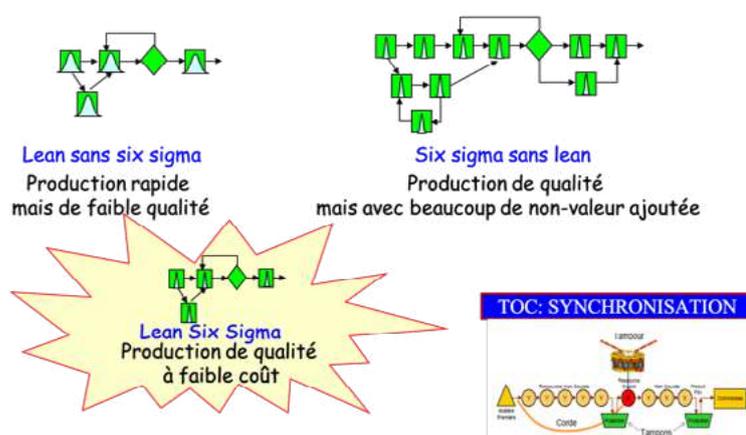


Fig6 : intégration Lean, Six sigma et TOC

En combinant ces trois méthodes, les entreprises peuvent adopter une approche intégrée de l'excellence opérationnelle, qui leur permettra d'identifier et de résoudre les problèmes de manière systématique et continue. Cette approche permet de créer

une culture d'amélioration continue au sein de l'entreprise, en impliquant l'ensemble des collaborateurs dans le processus d'amélioration de la qualité et de l'efficacité opérationnelle.

Cependant, pour maximiser les bénéfices de l'approche Six Sigma, il est important que l'entreprise adopte une culture d'engagement et d'amélioration continue, qui doit être soutenue par une formation adéquate et une communication efficace au sein de l'entreprise.

Par ailleurs, ces trois méthodes ne peuvent être appliquées séparément pour obtenir une amélioration continue et significative de la performance opérationnelle de l'entreprise. Il est essentiel de les intégrer dans une approche globale pour en tirer tous les avantages.

L'approche globale d'excellence opérationnelle implique l'adoption de pratiques et de méthodologies pour optimiser les processus de l'entreprise en continu et réduire les coûts, les délais et les erreurs, tout en améliorant la qualité de ses produits ou services.

Pour intégrer ces trois méthodes, l'entreprise doit déterminer les activités à forte valeur ajoutée de ses processus, les points de contraintes, les zones de gaspillage, les coûts inutiles et les défauts de qualité. L'objectif est ensuite de mettre en place des plans d'action pour résoudre ces problèmes de manière structurée et méthodique, en utilisant des outils et des techniques appropriés.

En intégrant ces trois méthodes, l'entreprise peut atteindre une amélioration significative de ses processus, une augmentation de sa productivité et de sa rentabilité, ainsi qu'une amélioration de la satisfaction de ses clients.

Cependant, pour garantir le succès de cette approche globale, il est crucial que l'entreprise implique l'ensemble de ses collaborateurs et mette en place une culture de l'amélioration continue. Les employés doivent être formés aux méthodes et aux outils utilisés dans l'approche globale, et être encouragés à participer activement à l'amélioration des processus de l'entreprise.

En somme, en intégrant les méthodes Six Sigma, Lean et TOC dans une approche globale d'excellence opérationnelle, les entreprises peuvent obtenir des résultats significatifs en termes d'amélioration continue de la performance opérationnelle et de la rentabilité, tout en garantissant la satisfaction de leurs clients.

V. Conclusion

L'analyse des concepts de management de la qualité a révélé une évolution majeure de la perception de la qualité au fil du temps. En effet, les organisations se sont progressivement orientées vers une vision plus globale de l'entreprise et de ses parties prenantes. Dans cette optique, la satisfaction client, qui était jusqu'alors le seul critère de qualité pris en compte, s'est vue élargie par l'arrivée des normes de systèmes de management, telles que l'ISO 9001, l'ISO 14001 ou encore l'ISO 45001.

Ces normes ont introduit de nouvelles exigences en matière de sécurité, d'environnement et de santé au travail, qui sont devenues des dimensions cruciales de la qualité. Cette approche élargie de la qualité implique donc une prise en compte plus fine des besoins des parties prenantes, ainsi qu'une meilleure gestion des risques associés aux activités de l'entreprise.

Dans ce contexte, la méthode Six Sigma s'est affirmée comme un outil efficace pour atteindre les objectifs de qualité sur le terrain. Elle se base sur une démarche rigoureuse et structurée d'amélioration continue, qui permet d'optimiser les processus et de réduire les coûts tout en améliorant la qualité. Toutefois, l'intégration de Six Sigma dans une approche globale de la qualité, associée notamment au Lean et à la Theory of Constraints (TOC), est essentielle pour maximiser l'efficacité et l'efficience de cette méthode.

En effet, le Lean permet de supprimer les gaspillages et d'optimiser les flux de production, tandis que la TOC offre une vision globale de l'entreprise et de ses contraintes, permettant ainsi de cibler les actions d'amélioration sur les points critiques. Ainsi, l'intégration de ces différentes approches de la qualité permet de couvrir l'ensemble des aspects nécessaires à une gestion efficace et durable de la qualité.

En définitive, la gestion de la qualité doit être appréhendée de manière globale, en prenant en compte les différentes dimensions de la qualité et en utilisant les outils adaptés pour optimiser les résultats. La méthode Six Sigma, intégrée dans une approche globale avec le Lean et la TOC, représente une démarche pertinente pour atteindre les objectifs de qualité, en associant efficacité et efficience.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (2019). *Juran's quality handbook: The complete guide to performance excellence*. McGraw Hill Professional.
- [2] Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2021). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125562.
- [3] Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's quality handbook*. McGraw-Hill.
- [4] Crosby, P. B. (1979). *Quality is free*. McGraw-Hill.
- [5] Pyzdek, T., & Keller, P. A., *The Six Sigma Handbook, Fourth Edition*, McGraw-Hill, 2014.
- [6] Hoerl, R. W., *Six Sigma: The Evolution of Quality Improvement*, *Quality Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp. 383-385, 1994.
- [7] Ramanathan, R., & Kulkarni, J. (2021). Six Sigma: An overview and critical analysis. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(3), 191-201.
- [10] Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2010). *Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence*. McGraw-Hill Education.
- [11] Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's quality handbook (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- [12] Hoang, D. T., Igel, B., & Laosirihongthong, T. (2010). The impact of total quality management practices on performance and competitive advantage: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 1-12.
- [13] Crosby, P.B., *Quality Without Tears: The Art of Hassle-Free Management*, McGraw-Hill, 1984.
- [14] Ishikawa, K., *What is Total Quality Control? The Japanese Way*, Prentice-Hall, 1985.
- [15] Kelada, J., *Quality Elevation: Principles and Tools for Continuous Improvement*, ASQ Quality Press, 2013.
- [16] Brem, A., Maier, M., & Wimschneider, C. (2016). Competitive advantage through innovation: A literature review. *Journal of Small Business Management*, 54(1), 87-109.
- [17] Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2015). *Blue ocean strategy, expanded edition: How to create uncontested market space and make the competition irrelevant*. Harvard Business Review Press.
- [18] *Global Trends 2040: A More Contested World* par le National Intelligence Council (NIC) des États-Unis (2021).
- [19] *The Future of Jobs Report* publié par le Forum économique mondial (WEF) (2020).

- [20] Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. New York, NY: McGraw-Hill.
- [21] Pyzdek, T. (2014). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [22] Motorola: https://www.motorolasolutions.com/en_us/about/company-overview/quality.html;
General Electric: <https://www.ge.com/sixsigma/>;
Ford: <https://corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2015-16/environment-water-quality-six-sigma.html>;
Amazon: <https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=17929089011>;
Caterpillar: <https://www.caterpillar.com/en/company/sustainability/our-approach/six-sigma.html>
- [23] Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation*. PICSIE Books.
- [24] Agrawal, V. K., Deshmukh, S. G., & Varma, S. (2012). Integration of Six Sigma and theory of constraints. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(6), 636-652.
- [25] El Fadil, N., & Badri, A. (2016). A hybrid approach of integrating Lean Six Sigma and Theory of Constraints for continuous improvement in manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 57, 287-292.



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



INDUSTRIE 4.0: ENJEUX POUR UNE SUPPLY CHAIN VERTE ET DURABLE

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Fouad JAWAB

EST de Fès

Cet article est organisé autour de trois questions principales liées au concept de la Supply Chain verte, aux technologies 4.0 et à l'utilisation de ces technologies pour assurer la durabilité. Notre objectif principal est de fournir des éléments de réponses à la question suivante : comment et dans quelle mesure les SupplyChains durables peuvent-elles être mises en œuvre avec succès sur le plan économique, social et écologique à l'aide des technologies 4.0 ?

Sur le plan méthodologique, nous avons adopté une approche exploratoire appuyée par des données qualitatives et quantitatives extraites de la littérature, des rapports et des sites Web des entreprises concernées. Cela a permis la concentration sur les pratiques et sur les expériences avant-gardistes des firmes de différentes dimensions et différentes activités, ainsi que sur les réussites en matière de réduction des émissions de CO2 et de respect de l'éthique sociale.

I. INTRODUCTION :

Ce papier traite du rôle que les technologies 4.0 peuvent jouer dans la réalisation des objectifs de durabilité tout au long de la chaîne d'approvisionnement (SC).

Dans un premier temps, une approche conceptuelle qui se concentre sur la SC sous ses différentes dimensions est présentée. Dans la deuxième partie, les technologies les plus importantes de l'Industrie 4.0 sont brièvement examinées aussi bien sur le plan technique que sur le plan fonctionnel. La troisième section est principalement consacrée à la SC verte. Les principales pratiques dans ce domaine sont présentées.

Dans la dernière partie, la Green SC 4.0 (Green Supply Chain 4.0) est traitée au niveau de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et au niveau des enjeux sociaux. Nous nous concentrons sur le potentiel que représente chaque technologie 4.0 pour atteindre les objectifs du développement durable au sein de la SC. En guise de concrétisation, nous présentons pour chaque technologie 4.0 au moins une expérience menée dans une grande entreprise internationale et qui a débouché sur la réduction des émissions de CO₂ et/ou la préservation des droits des parties prenantes (employés, clients, fournisseurs, etc.).

II. APPROCHE CONCEPTUELLE DUSUPPLYCHAIN VERTE (GREEN SUPPLY CHAIN-GSC)

Dans la littérature, nous pouvons distinguer plusieurs définitions de la Supply Chain (SC) et du Supply Chain Management (SCM). Pour la SC Nous pouvons citer la définition de Lambert et Cooper (2000), celle de Mentzer et al (2001), celle Chopra et Meindl¹ (2004) et celle de Simchi-Levi et al. (2019). Parmi les plus récente nous trouvons la définition présentée par Sunil Chopra, Peter Meindl en 2020. Selon laquelle, une SC «est un réseau d'installations et d'options de distribution qui assure les fonctions d'approvisionnement en matériaux, de transformation de ces matériaux en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis aux clients». Cette définition met l'accent sur l'interconnexion des différentes entités de la chaîne d'approvisionnement, des fournisseurs aux fabricants en passant par les clients, et sur le flux de matières et de

¹ Sunil Chopra, Peter Meindl, "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation"; 10 octobre 2000.

produits à travers le réseau.

Globalement, nous pouvons définir la supply chain comme un réseau qui regroupe l'ensemble des tâches et des acteurs agissant sur les flux. Ce réseau est doté d'un objectif commun et d'un leader qui assure la coordination et l'intégration de l'ensemble. Il associe une entreprise à ses fournisseurs et ses clients dans l'objectif d'intégrer et de synchroniser les flux.

En outre pour définir le SCM, nous pouvons proposer la définition de Martin Christopher² c'est «la gestion des relations en amont et en aval avec les fournisseurs et les clients afin d'offrir une valeur client supérieure à moindre coût à la SC dans son ensemble ».

Nous pouvons aussi dire que le SCM correspond à l'ensemble des méthodes, techniques et outils utilisés dans le but d'optimiser la Supply Chain. Elle consiste à recentrer l'organisation sur les besoins du client.

Au niveau du Supply Chain Management vert (GSCM), nous pouvons distinguer au moins 10 définitions entre (2009 et 2020)³. Parmi les définitions les plus récentes nous pouvons considérer celle selon laquelle le GSCM c'est l'« Intégration des facteurs environnementaux dans la gestion de la SC, y compris la conception des produits, l'approvisionnement, les processus de production, la distribution du produit final aux clients et la fin de vie »⁴. Une autre définition considérée parmi les plus complètes dans la mesure où elle prend en considération les aspects, Environnement, Flux, Coordination, Intervenant, Relation et Valeur « L'objectif du concept de GSCM est de minimiser ou d'atténuer le gaspillage des ressources (énergie et matériaux) et les impacts environnementaux négatifs (pollution de l'air, de l'eau et des sols) à toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, du développement des matières premières à la utilisation du produit par le client et son élimination à la fin du cycle de vie du produit »⁵.

² Martin Christopher, Logistics and Supply Chain Management ; Pearson Education Limited; 4ème édition 2011

³ Imane TRONNEBATI , Fouad JAWAB; Green and Sustainable Supply Chain Management: A Comparative Literature Review. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering; Volume 17, Number 1 (ISSN 1995-6665)2023.

⁴ M. J. F. S. L. B. a. T. G. LuaiJraisata, «No Actor is an Island: The Role of Partnerships in Sustainable Value Chains,» Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, vol. 16, no. 12, pp. 163-174, 2022.

⁵ J.B. Edwards, A.C. McKinnon, S.L. Cullinane., «Comparative analysis of the carbon footprints of conventional and online retailing: a "last mile" perspective,» International Journal of Physical Distribution and Logistics Management , vol. 40, n° 11-2), p. 103-123, 2010.

III. LES TECHNOLOGIES CLÉS DE L'INDUSTRIE 4.0

Notre objectif à ce niveau consiste à présenter l'essentiel des technologies clés de l'industrie 4.0 ou ce que nous pouvons appeler les technologies 4.0. Loin de chercher l'exhaustivité, seuls les technologies 4.0 considérées comme centrales seront traitées.

3.1. l'internet des objets (IoT/IdO)

L'Internet des objets (IdO)⁶ est un réseau d'appareils, d'objets et de machines interconnectés qui sont intégrés avec des capteurs, des logiciels et une connectivité pour leur permettre de collecter et d'échanger des données sur Internet.

Les services IoT font référence aux applications, plates-formes et outils qui permettent le développement, le déploiement et la gestion de solutions IoT. Ces services peuvent inclure des analyses de données basées sur le cloud, des solutions de sécurité et de confidentialité et des plateformes de gestion des appareils.

La combinaison d'appareils et de services IoT a le potentiel de transformer de nombreux aspects de notre vie, des maisons et des villes intelligentes aux soins de santé et aux transports. Par exemple, les capteurs compatibles IoT peuvent aider à surveiller et à optimiser la consommation d'énergie dans les bâtiments, tandis que les systèmes intelligents de gestion du trafic peuvent réduire les embouteillages et améliorer la sécurité sur les routes. Dans le domaine de la santé, les appareils IoT peuvent suivre les signes vitaux des patients et aider les médecins à surveiller et à gérer à distance les maladies chroniques.

Cependant, l'adoption généralisée de l'IoT soulève également des inquiétudes concernant la sécurité, la confidentialité et la propriété des données. À mesure que de plus en plus d'appareils sont connectés à Internet le potentiel, de cyberattaques et de violations de données, augmente soulignant la nécessité de mesures et de réglementations de sécurité solides.

⁶ Ammar Rayes et al, e-book "Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization" de, 2019, Springer

3.2. L'intelligence artificielle (IA)⁷

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui se concentre sur la création de machines intelligentes capables d'effectuer des tâches qui nécessitent généralement l'intelligence humaine, telles que la perception visuelle, la reconnaissance vocale, la prise de décision et le traitement du langage naturel. L'histoire de l'IA remonte au milieu du XXe siècle, lorsque les chercheurs ont commencé à explorer la possibilité de créer des machines capables de penser et d'apprendre comme les humains.

Le fonctionnement de l'IA peut être divisé en deux grandes catégories : l'apprentissage automatique et l'apprentissage en profondeur.

Apprentissage automatique : consiste à entraîner des machines à apprendre à partir de données sans être explicitement programmées. Cela se fait généralement à l'aide d'algorithmes capables de reconnaître des modèles et de faire des prédictions en fonction des données sur lesquelles ils sont formés.

Apprentissage en profondeur : implique la formation de réseaux de neurones artificiels pour apprendre à partir de données. Ces réseaux de neurones sont calqués sur la structure du cerveau humain et consistent en des couches de nœuds interconnectés qui traitent et analysent les données de manière hiérarchique. L'apprentissage en profondeur a été particulièrement efficace dans des domaines tels que la vision par ordinateur, le traitement du langage naturel et la reconnaissance vocale.

3.3. Big data et data mining

Le Big data et data mining en français, l'analyse de mégadonnées et l'exploration de données⁸ sont toutes deux liées au processus d'analyse d'ensemble de données volumineux et complexes. Les trois V du Big Data - volume, vitesse et variété - s'appliquent également à la fois à l'analyse du Big Data et à l'exploration de données.

L'analyse de données volumineuses fait référence au processus d'examen d'ensemble de données volumineux et complexes pour découvrir des modèles, des corrélations et d'autres informations pouvant aider à éclairer les décisions. Ce processus implique l'utilisation de technologies d'analyse avancées, telles que l'apprentissage automatique,

⁸ Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact.- <https://www.jstor.org/stable/41703503>

pour traiter et analyser les données.

L'exploration de données, en revanche, est un sous-ensemble de l'analyse de données volumineuses. Cela implique l'utilisation de techniques statistiques et d'apprentissage automatique pour identifier des modèles et des relations dans des ensembles de données volumineuses et complexes. L'objectif de l'exploration de données est d'extraire des informations et des connaissances à partir de données qui peuvent être utilisées pour l'amélioration des performances.

Les trois V du Big Data – volume, vitesse et variété – sont des considérations essentielles à la fois pour l'analyse du Big Data et l'exploration de données.

Le premier V, volume, fait référence à la quantité de données générées et collectées. Avec la prolifération des appareils et capteurs numériques, la quantité de données générées augmente à un rythme exponentiel. Le deuxième V, vitesse, fait référence à la vitesse à laquelle les données sont générées et collectées en temps réel ou quasi réel. Le troisième V, variété, fait référence aux différents types et formats de données qui sont générés et collectés. Les données peuvent provenir d'un large éventail de sources, telles que les médias sociaux, les bases de données clients et les capteurs. Chacune de ces sources peut utiliser différents formats de données, ce qui complique l'intégration et l'analyse efficaces des données.

3.4. Blockchain

La blockchain⁹ est un registre numérique qui permet de stocker et de transférer des informations de manière sécurisée et transparente sans avoir besoin d'une autorité centrale. Il s'agit essentiellement d'une base de données distribuée gérée par un réseau d'ordinateurs.

L'idée de base de la blockchain est qu'elle permet à plusieurs parties d'accéder et de maintenir une seule source de vérité sans avoir besoin d'une autorité centrale. Au lieu de s'appuyer sur un seul serveur ou une seule institution pour vérifier les transactions, la blockchain utilise un réseau d'ordinateurs pour valider et enregistrer collectivement les données.

⁹ Tapscott, D., & Tapscott, A. Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world. Penguin; Portfolio; Reprint edition 2018

Cette technologie est caractérisée par un nombre de fonctionnalités qui la rendent d'une grande utilité pour un large éventail d'applications, notamment la Cryptomonnaie, la Supply Chain, la vérification de l'identité numérique, les contrats intelligents...

La Blockchain fonctionne sur un réseau décentralisé d'ordinateurs (Décentralisation). Il n'y a pas de point de contrôle central, chaque ordinateur du réseau possède une copie du registre de la blockchain, et ils travaillent tous ensemble pour s'assurer que le registre est exact et à jour.

Sur la blockchain, il est possible de voir toutes les transactions qui ont eu lieu (Transparence), ce qui permet d'avoir un degré élevé de transparence et de responsabilité.

Les algorithmes cryptographiques utilisés par la blockchain rendent très difficile pour quiconque de falsifier les enregistrements ou d'apporter des modifications non autorisées (Sécurité). Cela fait de la blockchain un moyen très sécurisé de stocker et de transférer des informations.

Enfin, une fois qu'une transaction est ajoutée à la blockchain, elle ne peut être ni modifier ni supprimer (Immuabilité). Ce qui signifie que la blockchain fournit un enregistrement permanent de toutes les transactions qui ont eu lieu.

3.5 Machine learning

L'apprentissage automatique (Machine learning)¹⁰ est un sous-domaine de l'intelligence artificielle (IA) qui permet aux machines d'apprendre automatiquement à partir de données et d'améliorer leurs performances sur une tâche spécifique sans être explicitement programmées. L'objectif de l'apprentissage automatique est de permettre aux machines de reconnaître automatiquement des modèles dans les données et d'utiliser ces modèles pour faire des prédictions ou de prendre des décisions précises, sur de nouvelles données inédites.

Le Machine Learning, est utilisé dans plusieurs domaines. Nous présentons ici quelques-unes des applications les plus pertinentes et les plus utilisées.

Le traitement du langage naturel (NLP), qui permet aux machines de comprendre, d'interpréter et de générer le langage humain. La PNL est utilisée dans une variété

¹⁰ Alom, M. Z., Yakopcic, C., Taha, T. M., Asari, V. K.&A; A state-of-the-art survey on deep learning theory and architectures. MDPI Electronics2019.

d'applications telles que les chatbots, les assistants virtuels, la traduction linguistique, l'analyse des sentiments et la reconnaissance vocale.

La reconnaissance d'images et de vidéos, les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être formés pour reconnaître et classer les images et les vidéos. Les applications incluent la reconnaissance faciale, la détection d'objets, les véhicules autonomes et les systèmes de surveillance.

Les systèmes de recommandation, utilisés dans une variété d'applications telles que le commerce électronique, les médias et les réseaux sociaux pour personnaliser l'expérience utilisateur. Les algorithmes d'apprentissage automatique analysent le comportement des utilisateurs et font des recommandations en fonction de leurs interactions passées.

Aussi, l'apprentissage automatique est utilisé pour détecter les transactions frauduleuses en analysant les modèles de données. Les banques et les sociétés de cartes de crédit utilisent cette technologie pour détecter les activités inhabituelles en temps réel et prévenir la fraude.

Le Machine Learning est utilisé dans les soins de santé pour diagnostiquer les maladies et développer les plans de traitement personnalisés. Les algorithmes analysent les données des patients pour identifier des modèles qui peuvent aider les médecins à prédire quels traitements seront les plus efficaces pour chaque patient.

Dans le domaine des transports, le Machine Learning est utilisé pour permettre aux véhicules autonomes de reconnaître et de réagir aux différentes conditions de la route et aux différents obstacles. Les véhicules autonomes utilisent des capteurs pour collecter des données sur leur environnement, et des algorithmes d'apprentissage automatique analysent ces données pour prendre des décisions sur la façon de conduire.

3.6. Réalité augmentée et virtuelle

La réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV)¹¹ sont deux technologies qui simulent la réalité¹², mais elles le font de différentes manières.

¹¹ Digital Trends, par Luke Dormehl, 2021, <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/what-is-augmented-reality/>

¹² Digital Trends, par Luke Dormehl, 2021, <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/what-is-augmented-reality/>

La (AR) est une technologie qui superpose des informations numériques ou des graphiques sur le monde réel. Cela se fait généralement à l'aide d'un appareil photo et d'un écran, comme un smartphone ou une paire de lunettes intelligentes. La RA peut être utilisée pour améliorer l'expérience de l'utilisateur en ajoutant des informations supplémentaires ou des éléments visuels. Par exemple, une application RA peut être utilisée pour afficher des informations sur les produits d'un magasin lorsqu'un client pointe la caméra de son smartphone vers lui, ou elle peut être utilisée pour afficher des itinéraires et d'autres informations lorsqu'une personne explore une nouvelle ville.

La réalité virtuelle (RV) est une technologie qui crée un environnement complètement simulé avec lequel l'utilisateur peut interagir. Cela se fait généralement à l'aide d'un casque qui couvre les yeux de l'utilisateur et affiche un environnement virtuel. La technologie RV peut être utilisée pour créer des expériences immersives pour les jeux, l'éducation ou la formation. Par exemple, une simulation VR pourrait être utilisée pour former des pilotes d'avion ou pour aider les étudiants en médecine à pratiquer la chirurgie.

3.7. Cloud computing et le Cloud manufacturing

Le cloud computing¹³ est une technologie qui permet aux utilisateurs d'accéder et d'utiliser des ressources informatiques (telles que le stockage, la puissance de traitement et les logiciels) sur Internet, plutôt que de devoir compter sur du matériel ou une infrastructure locale. Cela rend possible l'accès à ces ressources de n'importe où, à tout moment, tant qu'on dispose d'une connexion Internet.

On distingue de nombreuses pratiques du cloud computing, telles que, lesStockage en ligne (Google Drive, Dropbox et OneDrive) qui permettent de stocker et d'accéder aux fichiersde n'importe quel lieu. Les applications Web (Salesforce, Slack et Zoom...) qui permettent d'accéder à de puissants outils logiciels sur Internet sans avoir à les installer localement sur ordinateurs. Les Big data analytics, les fournisseurs de cloud computing tels que Google Cloud et Amazon Web Services (AWS) fournissent des outils puissants pour le traitement et l'analyse de grandes quantités de données, qui peuvent être utilisés pour une variété d'applications telles que la prédiction du comportement des clients ou l'optimisation des processus métier. Les machines virtuelles, les fournisseurs

¹³ M.N. Abd Rahman, B. Medjahed, E. Orady, M.R. Muhamad, R. Abdullah and A.S.M. Jaya. A REVIEW OF CLOUD MANUFACTURING: ISSUES AND OPPORTUNITIES; Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)2018.

de cloud computing comme (AWS) et Microsoft Azure permettent aux utilisateurs de créer et d'exécuter des machines virtuelles dans le cloud, pour l'hébergement de sites Web ou l'exécution d'applications logicielles complexes.

Le cloud manufacturing, est un modèle de fabrication dans lequel une entreprise exploite la puissance du cloud computing pour partager des ressources et collaborer avec des partenaires. Une entreprise peut utiliser le cloud manufacturing pour sous-traiter la conception et la production de pièces imprimées en 3D à un fournisseur de services d'impression 3D au lieu de la fabrication en interne profitant ainsi d'une économie du temps et de l'argent, tout en obtenant des pièces imprimées en 3D de haute qualité. Il peut être utilisé pour proposer des produits personnalisés aux clients. Ainsi, un fabricant de meubles peut l'utiliser pour collaborer avec ses clients sur la conception et la production de meubles personnalisés. Dans la Supply Chain, il peut être utilisé pour collaborer avec les fournisseurs. Une entreprise peut ainsi l'utiliser pour partager les calendriers de production et coordonner les livraisons avec les fournisseurs, comme elle peut l'utiliser pour avoir une visibilité en temps réel sur les niveaux de stock et aider à automatiser les processus de commande et de réapprovisionnement.

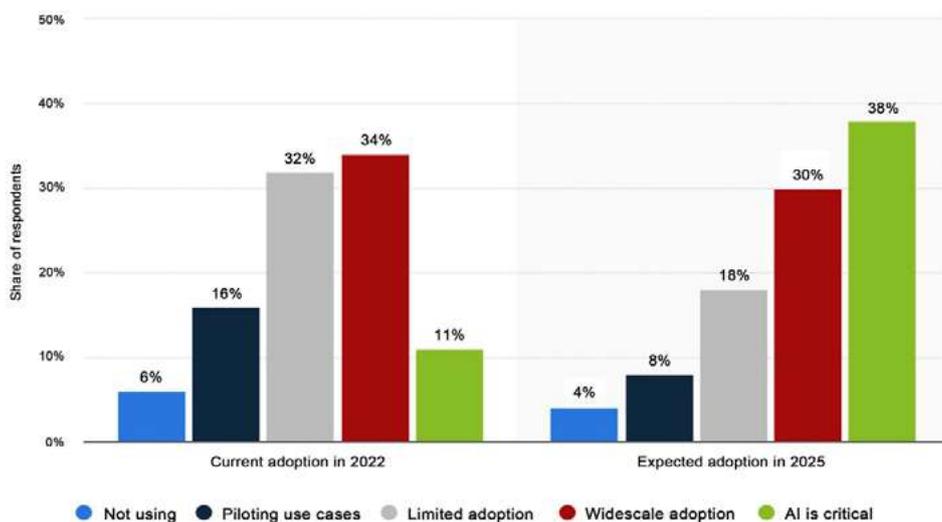


Figure 1. Taux d'adoption mondial de l'IA dans la chaîne d'approvisionnement et les entreprises de fabrication (2022 et 2025). Source : Statista (2022)¹⁴.

¹⁴ Statista (2022). Artificial Intelligence (AI) Adoption Rate in Supply Chain and Manufacturing Businesses Worldwide in 2022 and 2025. <https://www.statista.com/statistics/1346717/ai-function-adoption-rates-business-supply-chains/>

IV. LES PRINCIPALES PRATIQUES DE LA GSC

Dans cette partie nous présentons brièvement les principales pratiques au sein de la SC, qui peuvent avoir un impact indéniablement positif sur l'environnement. Ces pratiques sont devenues nécessaires pour contribuer à la protection de la Planet. En fait, à l'image de l'ensemble des activités humaines et face au réchauffement climatique, toutes les activités de la SC depuis la conception jusqu'à la destruction des produits en passant par l'approvisionnement, la production, la distribution, les transports, ...sont appelées à contribuer à l'objectif déclaré par la Conférence des Parties COP 21 de Paris (2015), Cet objectif devient plus pesant avec les manifestations désastreuses du réchauffement climatique des dernières années (sécheresse, inondation sèvres et touchant de plus de régions dans la planète...) a été réitéré par les Conférences COPet qui consiste à limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels, et si possible à 1,5°C.

4.1. Conception des produits et processus verts

Il s'agit d'intégrer les caractéristiques de la durabilité dans la conception des produits et dans les processus qui les génèrent. Les processus et les procédés industriels ne peuvent être conçus uniquement sur la base de la rentabilité économique, ils doivent utiliser des technologies non polluantes, consommer des énergies renouvelables, réduire les pertes de matières premières et d'énergie et assurer le recyclage des produits et sous-produits.

Les produits doivent utiliser des matériaux provenant de sources renouvelables avec un impact environnemental faible ou nul. ils devront être remplacés moins fréquemment, à fin de réduire l'impact de la production de remplacement. Ils doivent être réutilisables, recyclables et biodégradables...etc.

4.2. Achat et approvisionnement verts

Un achat et un approvisionnement verts, c'est «un achat effectué en s'assurant que les produits et services acquis par une organisation ont le plus faible impact négatif et les impacts environnementaux, sociaux et économiques les plus positifs possibles »¹⁵

¹⁵ Norme ISO 20400

Ils doivent prendre en considération en plus de l'aspect économique (qualité, coûts et délais), les deux aspects Environnement et Éthique sociale.

Sur le plan écologique, les processus d'achat et d'approvisionnement doivent retenir comme critères centraux de leurs activités, l'efficacité énergétique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la préservation des ressources (eau, matières premières) ainsi que la restriction maximale des déchets et polluants.

Sur le plan de l'éthique sociale, l'achat et l'approvisionnement doivent se focaliser sur le respect des droits de l'Homme, comme la discrimination sexuelle ou raciale, le travail des enfants, le travail forcé..., Aussi, les conditions de travail doivent être retenues comme critère. Il s'agit de la sécurité au travail, le droit d'expression, de représentation et de rémunération....

Le calcul du coût d'achat dans l'approche d'achat vert, doit prendre en considération la notion de coût de cycle de vie qui retient en plus du coût de possession global les coûts externes environnementaux générés par l'achat comme la pollution atmosphérique ou la déforestation...

4.3. Collaboration environnementale des fournisseurs

Il s'agit de la sélection des fournisseurs verts, Green Supplier Relationship Management (GSRM) dans l'objectif d'améliorer l'impact des fournisseurs en matière de préservation de l'environnement. Cela consiste, notamment à évaluer la performance écologique des fournisseurs, afin de s'assurer que les produits et les machines qu'ils fournissent sont fabriqués avec des matériaux et des pratiques respectueux de l'homme et de l'environnement.

Le système de management des fournisseurs doit prendre en considération, la gestion des substances dangereuses, le contrôle de la pollution, la conception des produits pour l'environnement, la certification du management environnemental, la capacité à dégager une image verte et d'assurer une innovation verte.

4.4. Logistique, transport et emballage vert

Dans un souci écologique, les entreprises doivent utiliser des moyens de transport écoresponsables utilisant des énergies propres ou renouvelables, optimiser les réseaux et les trajets de distribution, ainsi que le chargement des véhicules. Elles doivent réduire

le nombre de véhicules utilisés et les kilomètres parcourus en plus de la réduction des stocks et le recours à l'entreposage via le cross-docking. l'emballage de son côté doit être simple (diminuer la quantité d'emballage), biodégradables, recyclable et sans matériaux à base de pétrole (plastique).

4.5. Logistique inverse

Étant le « processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle du flux efficace et rentable des matières premières, des stocks en cours de fabrication, des produits finis et des informations connexes, du point de consommation au point d'origine, dans le but de récupérer ou de créer de la valeur, ou de les éliminer correctement, la logistique inverse, doit dans un objectif de respect de l'environnement, se concentrer sur le retour des biens et des matériaux pour le recyclage, la réutilisation, la refabrication et la réparation ou l'élimination responsable des produits et des matériaux »¹⁶.

4.6. Labélisation et Certification

La GSC passe aussi par la gestion de la responsabilité environnementale des entreprises avec la famille des normes ISO 14000: (14001, 14004, 14005). Cette famille de norme vise à minimiser les impacts environnementaux négatifs sur les organisations, réduire l'utilisation des ressources et des déchets et améliorer la qualité. Elle doit aussi, influencer, indirectement toutes les parties prenantes de la SC pour qu'elles choisissent des activités plus durables.

la responsabilité sociétale des entreprises, quant à elle, peut se référer à la ligne directrice ISO 26000.

4.7. Santé et sécurité

Les entreprises qui s'engagent dans une démarche de GSC doivent améliorer et maintenir un haut niveau de bien-être physique, émotionnel et social chez les travailleurs, ainsi que prévenir les blessures liées au travail. Il s'agit également de protéger les employés contre les risques pour la santé et d'adapter l'environnement de travail à leurs besoins physiques et psychologiques (norme ISO 45001 – Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail).

¹⁶ BÂTIMENT CIRCULAIRE ; F. Fontaine & B. Dewulf ; Bruxelles Environnement • Février 2021

4.8. Droits de l'homme, Philanthropie et Conditions de travail

Dans le cadre du respect des droits de l'Homme, les employés doivent avoir la possibilité de développer leur carrière et ne pas être sujet à la discrimination sexuelle ou raciale...

Les entreprises doivent démontrer leur engagement social et d'assistance à travers des pratiques d'offre de don et de bénévolat.

Les conditions de travail doivent assurer le bien-être social des employés en garantissant la rémunération, le temps du repos, les congés, et le respect des procédures de licenciement et l'allocation de maternité...

V. SUPPLY CHAIN VERTE ET DURABLE 4.0

La SC verte et durable 4.0 fait référence à la nouvelle génération de SC durable, qui intègre des technologies avancées pour améliorer la durabilité de la SC. En tirant parti de ces technologies, les entreprises peuvent réduire leur impact sur l'environnement et renforcer leur responsabilité sociale.

5.1. Technologies 4.0 et réduction des émissions CO2

5.1.1. L'internet des objets (IdO) et enjeu écologique

Les dispositifs IoT peuvent être utilisés pour surveiller et optimiser l'utilisation de l'énergie, de l'eau et d'autres ressources tout au long de la SC. Cela peut contribuer à réduire les déchets et à accroître l'efficacité. Il peut jouer un rôle important dans la réduction des émissions de CO2 dans la SC en fournissant des données en temps réel et des informations sur les opérations de la SC, ce qui autorise la prise de décisions éclairées permettant d'optimiser les processus et réduire l'empreinte carbone.

Ainsi, les capteurs IoT peuvent être utilisés dans le domaine de la maintenance prédictive pour surveiller les performances des équipements et les machines et détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne surviennent. Cela peut réduire les temps d'arrêt, minimiser la nécessité de transporter des pièces de rechange et réduire le besoin de réparations d'urgence, qui impliquent souvent l'utilisation de ressources et d'énergie supplémentaires.

Au niveau de la logistique et du transport, ils peuvent assurer le suivi des expéditions, optimiser les itinéraires de livraison et réduire le nombre de trajets à vide réduisant ainsi le temps et la distance de transport ce qui minimise la consommation de carburant et les émissions. Ils permettent aussi de surveiller les niveaux de stock en temps réel ce qui peut contribuer à réduire la surproduction et à éviter les transports inutiles de marchandises.

À titre d'exemple, en 2014, Walmart a annoncé qu'elle mettait en œuvre un système de gestion de flotte compatible IoT dans ses opérations de camionnage. Le système utilise des capteurs et des analyses de données pour optimiser le rendement énergétique et réduire les émissions de CO₂. En 2018, Walmart avait atteint une réduction de 15% des émissions de CO₂ de sa flotte, attribué en partie au système de gestion de flotte compatible IoT.¹⁷ Aussi, en 2017, Maersk Line a mis en œuvre le système de suivi des conteneurs compatible IoT « Remote Container Management (RCM) » dans ses opérations de SC. Le système utilise des capteurs et des analyses de données pour optimiser les routes maritimes et réduire la consommation de carburant et les émissions de CO₂. Maersk Line estime que le système a le potentiel de réduire les émissions de CO₂ jusqu'à 20%.¹⁸

Aussi, les capteurs IoT peuvent contribuer à assurer l'efficacité énergétique en surveillant la consommation d'énergie et en identifiant les domaines dans lesquels cette consommation peut être réduite. Ainsi, les systèmes d'éclairage intelligents peuvent ajuster automatiquement le niveau d'éclairage en fonction de l'occupation des lieux dans les usines, les centres de distribution et les entrepôts.

Ainsi, DHL a mis en œuvre en 2015 un système de gestion d'entrepôt compatible IoT dans ses opérations de SC. Le système utilise des capteurs et des analyses de données pour optimiser la consommation d'énergie et réduire les émissions de CO₂. En 2018, DHL avait atteint une réduction de 10 % des émissions de CO₂ de ses opérations d'entrepôt, attribuée partiellement au système de gestion d'entrepôt compatible IoT.¹⁹

¹⁷ 2019- Environmental, Social & Governance Report (<https://corporate.walmart.com/esg-report-2019/transportation>)

¹⁸ Emmanuel Mair; Shippers of high-value cargo have long demanded greater visibility in their supply chains. Smart devices are now delivering solutions; 2020 vision; NOVEMBER 2018.

¹⁹ INTERNET OF THINGS IN LOGISTICS "A COLLABORATIVE REPORT BY DHL AND CISCO ON IMPLICATIONS AND USE CASES FOR THE LOGISTICS INDUSTRY"; Deutsche Post DHL Group « Corporate Responsibility Report 2018 » (<https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-corporate-responsibility-report.pdf>)

Au niveau de l'achat et de l'approvisionnement les capteurs IoT peuvent être utilisés pour suivre et vérifier la durabilité des matières premières et des produits achetés. Ils peuvent ainsi, surveiller l'impact environnemental des fournisseurs, ce qui permet d'intégrer l'enjeu écologique dans la prise de décision.

Ces capteurs IoT peuvent aussi surveiller les flux de déchets et identifier les possibilités de réduire les déchets et d'augmenter le recyclage.

5.1.2. Blockchain pour la réduction des émissions

La technologie Blockchain a le potentiel de réduire les émissions de CO₂ dans la SC en permettant une plus grande transparence et une meilleure traçabilité des produits et des matériaux.

Elle peut être utilisée pour suivre l'origine des matières premières et s'assurer qu'elles proviennent de fournisseurs durables, ce qui contribue à réduire l'impact environnemental et encourage des pratiques d'achat et d'approvisionnement responsables.

La blockchain peut aussi, contribuer à la neutralité carbone. Elle peut être utilisée pour créer un registre numérique infalsifiable des crédits carbone tout au long de la SC. Ces crédits peuvent être achetés et vendus sur un marché mondial. Cela peut aider les entreprises à compenser leurs émissions de carbone en investissant dans les énergies renouvelables ou d'autres initiatives durables.

Ainsi, la plateforme Blockchain de CarbonX²⁰ pour les compensations carbone a été lancée en 2019 dans l'objectif de permettre un échange transparent et sécurisé des compensations carbone, ce qui peut aider à réduire les émissions de CO₂. En utilisant la blockchain pour suivre les compensations carbone, la plateforme vise à réduire le risque de fraude et à accroître l'efficacité du marché des compensations carbone.

Aussi, le Fonds mondial pour la nature (WWF) sous l'égide des Nations unies (ONU) utilise la plateforme CarbonX, entre autres, pour éliminer la pêche illégale dans l'industrie du thon. CarbonX transforme les réductions d'émissions de gaz à effet de serre en une cryptomonnaie. Cette dernière peut être achetée et vendue, fournissant ainsi aux fabricants et consommateurs une incitation financière à faire des choix plus durables.

²⁰ <https://www.carbonx.ca/#introducing-carbonx>

et respectueux de la planète²¹.

Au sein de la SC, la blockchain peut contribuer à optimiser les transports grâce au suivi du mouvement des marchandises et des matériaux, permettant ainsi, un transport plus efficace et réduisant le nombre de voyages à vide.

TradeLens une plateforme basée sur la blockchain qui vise à numériser et à rationaliser le commerce mondial a été lancé par Maerks et IBM en 2018. La plate-forme utilise des contrats intelligents et d'autres technologies de blockchain pour améliorer la transparence, la sécurité et l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. TradeLens²² permettait aux expéditeurs/ou chargeurs, transitaires, agents des douanes et autres parties prenantes d'accéder à des informations en temps réel sur l'état de leurs expéditions, ce qui peut contribuer à réduire les retards et à optimiser les itinéraires de transport²³.

Aussi, Walmart obligeait en 2019 ses fournisseurs de légumes verts à feuilles à utiliser un système basé sur la blockchain pour suivre et tracer leurs produits. Le système, qui a été développé en partenariat avec IBM, permet à Walmart et à ses fournisseurs de retracer rapidement et avec précision l'origine des aliments contaminés en cas d'éclosion d'une maladie d'origine alimentaire.

En utilisant la technologie blockchain, le système peut suivre le parcours d'un produit tout au long de la SC, de la ferme au magasin, offrant une plus grande transparence et responsabilité. L'histoire a commencé en 2016, lorsque au sein de Walmart on a souhaité retracer un paquet de mangues tranchées jusqu'à la source. Il a fallu 6 jours, 18 heures et 26 minutes pour y parvenir. Après s'être associé à IBM pour créer un système de traçabilité alimentaire basé sur la blockchain HyperledgerFabric, Walmart a pu tracer les mangues stockées dans ses magasins américains en 2,2 secondes²⁴.

Au niveau de la gestion de l'énergie, la blockchain peut être utilisée pour suivre la consommation d'énergie dans les entrepôts et autres installations, ce qui permet aux

²¹ Finances News Hebdo du 03 Juillet 2021 - Par admin (<https://fnh.ma/article/developpement-durable/protection-de-l-environnement-les-promesses-de-la-technologie-blockchain>)

²² <https://www.tradelens.com/>

²³ Bien que la plate-forme TradeLens était viable, le besoin d'une collaboration complète de l'industrie mondiale n'a pas été atteint. En conséquence, TradeLens n'a pas atteint le niveau de viabilité commerciale nécessaire pour continuer à travailler et répondre aux attentes financières en tant qu'entreprise indépendante. En conséquence il y a une intention que la plate-forme se déconnecte vers la fin du premier trimestre 2023

²⁴ https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html

entreprises d'identifier les domaines où la consommation d'énergie peut être réduite. Cela peut aider à réduire l'empreinte carbone des opérations de la SC.

En 2018, Power Ledger, une plateforme australienne de commerce d'énergie basée sur la blockchain, s'est associée à BSES Rajdhani Power Limited (BRPL) pour lancer une plateforme de commerce d'énergie solaire peer-to-peer en Inde. La plateforme visait à permettre aux ménages équipés de panneaux solaires de vendre l'excédent d'énergie à leurs voisins et de gagner de l'argent grâce à un système de transaction basé sur la blockchain²⁵.

La blockchain peut aussi contribuer à la réduction des déchets tout au long de la SC, en suivant le mouvement des déchets, ce qui permet aux entreprises d'identifier les possibilités de réduction et de recyclage des déchets. En 2016, Plastic Bank, une entreprise sociale, a lancé une plateforme basée sur la blockchain à Haïti qui encourage la collecte et le recyclage des déchets plastiques. La plateforme permet aux particuliers d'échanger des déchets plastiques contre des jetons numériques pouvant être utilisés pour acheter des biens et des services²⁶.

Aussi, en 2020, Ecolytiq, une startup allemande, a lancé une plateforme basée sur la blockchain qui suit l'empreinte carbone des activités de gestion des déchets. La plateforme permet aux entreprises de gestion des déchets de mesurer, vérifier et déclarer leurs émissions de carbone, les aidant ainsi à réduire leur impact environnemental²⁷.

5.1.3. L'intelligence artificielle (IA) au service de l'environnement

De son côté peut contribuer à réduire les émissions de CO2 dans la SC en optimisant les opérations et en permettant une utilisation plus efficace des ressources. Ainsi dans le domaine de la maintenance prédictive, les algorithmes d'IA peuvent analyser les données des capteurs pour prédire quand l'équipement aura besoin d'être entretenu ou réparé. Cela peut aider à prévenir les pannes et à réduire le besoin de réparations d'urgence, qui impliquent souvent l'utilisation de ressources et d'énergie supplémentaires. Dans le domaine des transports, l'IA peut être utilisée pour optimiser l'acheminement et la programmation des transports, en réduisant le nombre de trajets à vide et en optimisant les itinéraires pour minimiser la consommation de carburant

²⁵ <https://www.powerledger.io/clients/bses-rajdhani-india>

²⁶ <https://plasticbank.com/>

²⁷ <https://ecolytiq.com/>

et les émissions.

En 2019, UPS a mis en œuvre un système d'optimisation des itinéraires de livraison par l'IA dans ses opérations logistiques, ce qui a autorisé la réduction de la consommation du carburant et des émissions de CO₂²⁸.

L'IA peut aussi, contribuer à atteindre les objectifs de la durabilité au niveau de la gestion des stocks et de l'énergie. Au niveau des stocks, les algorithmes de l'IA peuvent analyser les données relatives à la demande et optimiser les niveaux de stocks en temps réel, ce qui peut contribuer à réduire la surproduction et à éviter les transports inutiles de marchandises. Au niveau de l'énergie, ces algorithmes peuvent analyser les données relatives à la consommation d'énergie dans les entrepôts et les centres de distribution, et identifier les zones où la consommation d'énergie peut être réduite grâce à l'utilisation d'équipements et d'éclairages plus efficaces.

L'IA peut être utilisée pour analyser l'impact environnemental des produits tout au long de leur Cycle de vie, aidant ainsi les entreprises à prendre des décisions de conception plus durables et à optimiser leurs sc en conséquence.

En 2020, L'Oréal a mis en œuvre un tableau de bord de développement durable basé sur l'IA dans ses opérations de fabrication. Le tableau de bord utilise l'IA pour suivre et analyser la consommation d'énergie, la consommation d'eau et la production de déchets. En utilisant l'IA pour surveiller et optimiser ses performances en matière de développement durable, L'Oréal a pu réduire son empreinte carbone et réaliser des opérations plus durables.

Ans son rapport de développement durable 2020, L'Oréal a indiqué que par rapport à 2005 elle avait réduit ses émissions de carbone de 81 % et qu'elle avait atteint son objectif d'envoyer zéro déchet à la décharge depuis ses usines et centres de distribution. L'entreprise a également indiqué qu'elle avait progressé vers son objectif de réduire la consommation d'eau dans ses usines de 49 % par produit fini en 2020²⁹.

²⁸ UPS To Enhance ORION With Continuous Delivery Route Optimization (<https://about.ups.com/us/en/newsroom/press-releases/innovation-driven/ups-to-enhance-orion-with-continuous-delivery-route-optimization.html>)

²⁹ LOREAL 2020 Annual Report (<https://www.loreal.com/-/media/project/loreal/brand-sites/corp/master/lcorp/documents-media/publications/annual-reports/loreal2020annualreport.pdf>)

5.1.4. Les énergies renouvelables pour réduire les émissions

Peuvent être utilisées de différentes manières dans la SCafin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir le développement durable.

D'abord, les sources d'énergies renouvelables telles que les panneaux solaires et les éoliennes peuvent être installées sur les toits des entrepôts et des centres de distribution afin de produire de l'énergie propre ce qui permet de réduire la dépendance à l'égard des sources d'énergie non renouvelables et de diminuer les émissions.

Ensuite, les véhicules électriques peuvent être utilisés pour le transport au sein de la SC, réduisant ainsi l'empreinte carbone de l'expédition et de la logistique. Il peut s'agir de camions, de camionnettes et même de drones électriques.

Enfin, les entreprises peuvent acheter des crédits d'énergie renouvelable ou des compensations carbone pour compenser leurs émissions et promouvoir l'utilisation de sources d'énergies renouvelables. Cela peut aider à financer des projets d'énergie renouvelable et à promouvoir la durabilité tout au long de la SC.

En mars 2021, FedEx Corp³⁰ qui dispose de la plus grande compagnie aérienne de fret au monde, a annoncé son objectif de neutralité carbone³¹ à l'échelle mondiale d'ici 2040.

Pour atteindre cet objectif, FedEx prévoit un investissement initial de plus de 2 milliards de dollars dans trois domaines clés : l'électrification des véhicules³², l'énergie durable³³ et la séquestration du carbone.

³⁰ FedEx, "FedEx Commits to Carbon-Neutral Operations by 2040," 2020. Available at: <https://newsroom.fedex.com/newsroom/asia-english/sustainability2021>

³¹ FedEx s'engage notamment à verser 100 millions de dollars à l'université de Yale pour la création du Yale Center for Natural Carbon Capture, qui accélérera la recherche sur les méthodes de séquestration du carbone à grande échelle, avec pour objectif initial de compenser les émissions de gaz à effet de serre équivalentes aux émissions actuelles des compagnies aériennes.

³² L'électrification des véhicules. D'ici 2040 et grâce à des programmes de remplacement progressif des véhicules, l'ensemble du parc de véhicules de ramassage et de livraison de colis (PUD) de FedEx sera composé de véhicules électriques à zéro émission. D'ici 2025, 50 % des achats de véhicules PUD de FedEx Express seront électriques, pour atteindre 100 % de tous les achats d'ici 2030.

³³ Des carburants durables. FedEx continuera d'investir dans les carburants alternatifs. Depuis 2012, ses programmes FedEx Fuel Sense et Aircraft Modernization ont permis d'économiser 1,43 milliard de gallons de kérosène et d'éviter plus de 13,5 millions de tonnes d'émissions de dioxyde de carbone (CO2)

5.1.5. Big Data et SC durable

Le recours au Big Data peut aussi être bénéfique pour la maîtrise des émissions de CO₂ dans la SC.

Déjà en 2011, Schneider Electric a lancé sa plateforme Big Data «EcoStruxure Resource Advisor». Cette plateforme permet de collecter, analyser et visualiser les données énergétiques pour aider les entreprises à prendre des décisions éclairées en matière de gestion de l'énergie et de développement durable à l'échelle mondiale.

Grâce à cette plateforme, Schneider Electric peut identifier les sources de gaspillage d'énergie et prendre des mesures pour optimiser l'utilisation des ressources et réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'entreprise peut également suivre en temps réel la consommation d'énergie de ses installations et détecter les anomalies pour y remédier rapidement.

Dans son rapport de 2020 la société réclame « en 2018 et 2019, nous avons accompagné nos clients dans leur parcours de développement durable, les aidant à économiser près de 90 millions de tonnes de CO₂, ... De notre côté, nous avons pris des engagements décisifs à long terme : en 2025 nous aurons atteint la neutralité carbone (...) dans nos équipements moyenne tension, en 2030 nous serons à zéro émission nette, et nous exploiterons une SC à zéro carbone net en 2050»³⁴.

5.1.6. Réalité augmentée et Réalité virtuelle face aux émissions CO₂ dans la SC

La RA et la RV peuvent toutes les deux être utilisées pour réduire les émissions de CO₂ dans la supply chain.

La réalité virtuelle permet de simuler des processus logistiques et de production, offrant ainsi une meilleure compréhension des opérations. Les entreprises peuvent utiliser ces simulations pour identifier les inefficacités et les goulots d'étranglement. Ainsi, en utilisant la RV pour simuler une SC, les entreprises peuvent identifier des zones où les produits seraient stockés trop longtemps ou encore des étapes du processus qui prendraient trop de temps. En apportant des améliorations à ces zones, les entreprises peuvent donc réduire le gaspillage des ressources, en diminuant le temps de production et en

³⁴ Document d'Enregistrement Universel 2019, RAPPORT FINANCIER ET DÉVELOPPEMENT DURABLE (<https://www.se.com/ww/fr/assets/342/document/124836/annual-report-2019-fr.pdf>)

optimisant l'utilisation de l'énergie réduisant du même coup les émissions de CO₂. La RV peut aussi être utilisée pour former le personnel et permet d'éviter les voyages et les déplacements à l'origine des émissions CO₂. Aussi, les employés peuvent interagir avec des objets virtuels pour apprendre à manipuler les palettes, les chariots élévateurs et d'autres équipements. En plus de la suppression des raisons des déplacement la RV permet d'éviter des accidents des employés en formation.

La RA, permet de visualiser en temps réel les niveaux des stocks, en plaçant simplement un smartphone ou une tablette devant les produits. Cela peut aider les employés à localiser rapidement les articles nécessaires, à vérifier les niveaux de stock et à détecter les erreurs. La RA permet aussi de guider les employés à travers l'entrepôt pour récupérer rapidement les commandes, en leur montrant le chemin le plus court à suivre.

La réalité augmentée peut être utilisée pour optimiser l'utilisation de l'espace de l'entrepôt. Les employés peuvent recourir à des visualisations en 3D pour planifier le placement des articles et minimiser les déplacements inutiles.

En 2015, DHL a lancé un projet pilote (DHL's AR-Powered Warehouse Operations) pour tester l'utilisation de la réalité augmentée dans ses opérations d'entrepôt. Le système AR utilisait des lunettes intelligentes pour guider les travailleurs dans les tâches de l'entrepôt, telles que la préparation et l'emballage des commandes. En utilisant la RA pour améliorer l'efficacité et la précision des travailleurs, DHL a pu réduire le temps et l'énergie nécessaires pour effectuer les opérations d'entrepôt, ce qui a entraîné une réduction des émissions de CO₂. Selon DHL, l'utilisation de la réalité augmentée dans ses opérations d'entrepôt a permis une amélioration du processus de picking de 25%³⁵, ce qui réduirait les émissions de CO₂ par rapport aux entrepôts traditionnels.

5.1.7. Écologie face à la robotique et l'automatisation

La robotique et l'automatisation sont des technologies qui impliquent l'utilisation de robots et de machines pour effectuer des tâches qui sont généralement réalisées par des humains. Ces technologies ont été largement utilisées dans la SC pour améliorer l'efficacité et réduire les coûts et, ces dernières années, elles ont également été utilisées pour réduire les émissions de CO₂. C'est notamment le cas de

³⁵ <https://www.dhl.com/global-en/delivered/digitalization/dhl-successfully-tests-augmented-reality-application-in-warehouse.html>

APM Terminals (APMT, groupe Maersk) qui a inauguré, en avril 2015, son terminal à conteneurs automatisé sur un terrain conquis sur la mer, à Rotterdam. Les systèmes automatisés, qui comprennent des grues, des camions et d'autres machines, sont contrôlés par des logiciels et peuvent fonctionner 24 heures sur 24 avec une intervention humaine minimale. Ils travaillent en tenant compte du plan de charge de chaque armateur.

Sur le terminal d'APMT, les conteneurs ne sont pas transportés par des cavaliers qui utilisent du diesel mais par des véhicules électriques, guidés par des capteurs et équipés de batteries. Des robots programmés pour quitter le parc toutes les huit heures et se rendre à la station d'échange où leur batterie est remplacée automatiquement ! Le terminal n'émet ni CO₂ ni oxyde d'azote et fonctionne à l'énergie renouvelable, celle produite notamment par les champs éoliens offshore de la mer du Nord³⁶.

5.1.8. Le Cloud computing et SC Durable

En 2016 UPS a mis en œuvre un système d'optimisation des itinéraires, basé sur le cloud appelé ORION (On-Road Integrated Optimization and Navigation). ORION utilise des algorithmes avancés pour créer les itinéraires les plus efficaces pour les camions de livraison en fonction de divers facteurs tels que le volume de colis, la capacité des véhicules, les modèles de circulation et les restrictions routières. Le système ORION analyse en temps réel les données provenant des unités GPS installées dans les camions de livraison d'UPS, ainsi que des données de localisation des clients et des horaires de livraison, pour fournir aux chauffeurs les itinéraires les plus efficaces possible. ORION aide à réduire la consommation de carburant, les émissions de carbone et les coûts de transport, tout en améliorant les délais de livraison et la satisfaction des clients. En plus d'optimiser les itinéraires, ORION fournit également aux chauffeurs des instructions de navigation détaillées, des mises à jour de trafic en temps réel et d'autres outils pour les aider à naviguer dans les itinéraires de livraison complexes et éviter les congestions de circulation.

Grâce à sa mise en œuvre UPS a pu réduire sa consommation annuelle de carburant de 1,5 million de gallons et ses émissions de CO₂ de 14 000 tonnes³⁷.

³⁶ L'Usine nouvelle, 27 Août 2015. <https://www.usinenouvelle.com/article/avec-les-robots-du-port-de-rotterdam.N345781>

³⁷ UPS va améliorer ORION avec l'optimisation continue des itinéraires de livraison ; <https://about.ups.com/us/en/newsroom/press-releases/innovation-driven/ups-to-enhance-orion-with-continuous-delivery-route-optimization.html>

5.2. Technologies 4.0 et éthique social dans la SC

5.2.1. IoT et enjeux sociaux

l'Internet des objets (IoT) est utilisé dans la SC pour améliorer les conditions de travail et pour protéger les droits humains des employés.

En 2017, DHL a mis en place la technologie IoT dans ses entrepôts pour surveiller les conditions de travail des employés, telles que les niveaux de température et d'humidité. Unilever a mis en œuvre en 2018 la technologie IoT dans ses usines pour surveiller la sécurité des travailleurs et prévenir les accidents. La technologie comprenait des capteurs et des appareils portables qui suivaient les mouvements des travailleurs et fournissaient des alertes s'ils risquaient d'être blessés.

En 2019, UPS a mis en œuvre la technologie IoT dans ses camions de livraison pour surveiller la sécurité des chauffeurs et prévenir les accidents. La technologie comprenait des capteurs et des caméras qui suivaient le comportement du conducteur, par exemple s'il portait une ceinture de sécurité ou s'il conduisait trop vite.

Nous pouvons aussi, envisager la mise en place des capteurs qui surveillaient la qualité de l'air, les niveaux de bruit, tel est le cas de Fairphone³⁸ en 2015

Sur le plan social, l'internet des objets (IoT) peut améliorer les conditions de travail dans la SC à plusieurs niveaux. Ils peuvent améliorer la sécurité des travailleurs en surveillant les conditions de travail, en identifiant les dangers potentiels et en lançant des alertes aux travailleurs et la direction des risques potentiels pour la sécurité. À titre d'exemple, les capteurs peuvent détecter des niveaux élevés de gaz ou de produits chimiques sur le lieu de travail et déclencher des alarmes ou arrêter automatiquement l'équipement.

Ils peuvent aussi, contribuer à améliorer l'ergonomie en suivant les mouvements et les activités des travailleurs et en fournissant un retour d'information sur la posture, les techniques de levage et d'autres facteurs ergonomiques, ce qui peut prévenir les blessures et réduire la fatigue des travailleurs.

Les dispositifs IoT, peuvent contribuer à rationalisation les flux de travail. En automatisant les tâches répétitives ils libèrent les travailleurs pour qu'ils se concentrent sur des tâches plus complexes et plus significatives. Cela peut réduire le risque de blessures dues à

³⁸ Fabricant néerlandais de smartphones

des mouvements répétitifs et améliorer la satisfaction au travail.

Aussi, les systèmes d'assistance basés sur l'IoT peuvent fournir aux travailleurs un accès instantané (en temps réel) aux ressources et aux informations sur les performances des travailleurs leur permettent d'adapter leur comportement et d'améliorer leur productivité.

5.2.2. Big Data et droits de l'Homme

L'analyse du Big Data peut être utilisée pour protéger les droits humains des employés de la SC. En analysant de grandes quantités de données provenant de diverses sources, les entreprises peuvent identifier les violations potentielles du travail et d'autres problèmes, et prendre des mesures pour y remédier. C'est le cas d'Apple (2014)³⁹, d'Adidas (2015)⁴⁰, de Walmart (2019)⁴¹ et de bien d'autres entreprises connues à l'échelle mondiale qui ont fait appel à des programmes d'analyse Big Data. Dans la majorité des cas, ces programmes utilisaient des données provenant d'enquêtes auprès des travailleurs, d'inspections d'usines et bien d'autres sources pour identifier et remédier aux violations potentielles des droits des employés.

5.2.3. Intelligence Artificielle et droit de l'Homme

L'intelligence artificielle (IA) a été utilisée dans la SC pour protéger les droits humains des employés. Il s'agit en général de mettre en place des plateformes, de gestion des risques de la SC, alimentées par l'IA pour surveiller les conditions de travail dans sa SC. Ces plateformes utilisaient des algorithmes d'IA pour analyser les données provenant de plusieurs sources, y compris les auto-évaluations des fournisseurs, les rapports d'audit, les enquêtes auprès des travailleurs, les médias sociaux et les articles de presse, afin d'identifier les violations potentielles du travail. C'est le cas de Nestlé (2021)⁴² et Unilever (2020)⁴³.

³⁹ Apple Supplier Responsibility 2014 Progress Report. https://www.apple.com/supplier-responsibility/pdf/Apple_SR_2014_Progress_Report.pdf

⁴⁰ Sustainability progress report for 2015. https://www.adidas-group.com/media/filer_public/9c/f3/9cf3db44-b703-4cd0-98c5-28413f272aac/2015_sustainability_progress_report.pdf

⁴¹ 2019 Environmental, Social & Governance Report. https://corporate.walmart.com/media-library/document/2019-environmental-social-governance-report/_proxyDocument?id=0000016a-9485-d766-abfb-fd8d84300000

⁴² Nestlé's human rights framework and roadmap. <https://www.nestle.com/sites/default/files/2021-12/nestle-human-rights-framework-roadmap.pdf>

⁴³ Human Rights report 2020. <https://www.unilever.com/files/origin/1c684e01e7fd1f5e9a9a9142ce34801136320eba.pdf/unilever-human-rights-report-2020-supplier-audit-update.pdf>

5.2.4. Blockchain et droits de l'Homme au travail

La Blockchain peut être utilisée dans la SC pour protéger les droits humains des employés. En assurant la transparence et la traçabilité, les entreprises peuvent s'assurer que leurs produits proviennent de sources éthiques et ne contribuent pas aux violations des droits de l'homme, aux conflits ou à d'autres pratiques contraires à l'éthique. C'est dans ce sens que De Beers a mis en place en 2018 la plate-forme basée sur la blockchain «Tracr»⁴⁴ pour suivre les diamants de la mine au détaillant et contribuant à empêcher le commerce des « diamants du sang ».

Aussi, la plate-forme basée sur la blockchain «Chain of Origin» a été mise en place par Nestlé 2020 pour suivre le lait de la ferme à l'usine⁴⁵.

5.2.5. Intelligence artificielle pour la sélection et l'évaluation des fournisseurs durables

Les plateformes alimentées par l'IA peuvent être utilisées dans la SC pour la sélection de fournisseurs durables. En analysant de grandes quantités de données provenant de sources multiples, les entreprises peuvent identifier les fournisseurs durables et les risques potentiels en matière de durabilité, et prendre des mesures pour améliorer la durabilité de leur SC.

Nous relevons ici le cas de la plate-forme alimentée par l'IA «Supplier IQ» d'IBM (2019)⁴⁶, justifié par un intérêt croissant des consommateurs à la transparence des Supply Chains⁴⁷. C'est le cas aussi de «EcoStruxureSupply Chain Advisor» développée par Schneider Electric en 2018 qui utilise l'intelligence artificielle (IA) pour améliorer les performances énergétiques et environnementales dans les bâtiments et les infrastructures. Elle peut être utilisée pour collecter et analyser des données sur les équipements et les processus tout au long de la chaîne d'approvisionnement, afin d'identifier les inefficacités énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre. Ces informations peuvent aider les entreprises à prendre des décisions éclairées sur la manière de réduire leur impact environnemental et de minimiser les coûts associés à

⁴⁴<https://www.debeersgroup.com/sustainability-and-ethics/leading-ethical-practices-across-the-industry/tracr>

⁴⁵ <https://www.forbes.com/sites/amazonwebservices/2019/12/12/nestles-chain-of-origin-coffee-brings-supply-chain-transparency-with-amazon-managed-blockchain/?sh=70d4b33f193b>

⁴⁶ <https://www.supplieriq.us/>

⁴⁷ Dans une enquête d'IBM aux USA 94% des consommateurs interrogés ont déclaré qu'ils seraient plus fidèles à une marque offrant une transparence totale et 63 % ont déclaré qu'ils paieraient jusqu'à 36 % de plus pour des produits fabriqués de manière responsable et provenant de manière transparente. (<https://www.ibm.com/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>)

la consommation d'énergie.

En 2018, IBM Watson a lancé son outil Cognitive Supplier Assistant (CoSA) qui utilise des algorithmes de traitement du langage naturel (TAL) et de Machine Learning pour analyser les données des fournisseurs et fournir des recommandations pour un approvisionnement durable.

SAP Ariba a lancé sa solution Supplier Risk⁴⁸, qui utilise l'IA pour évaluer le risque fournisseur dans plusieurs catégories, y compris la durabilité depuis 2013. L'outil analyse les données des fournisseurs et fournit un score de risque, qui peut aider les équipes d'approvisionnement à identifier les risques potentiels en matière de durabilité.

VI. CONCLUSION

En conclusion, l'utilisation des technologies 4.0 dans la supplychain verte offre un potentiel considérable pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la transparence de la SC. Les entreprises qui s'engagent à adopter ces technologies peuvent non seulement réduire leur impact environnemental, mais également bénéficier d'avantages concurrentiels en améliorant leur efficacité opérationnelle et leur image de marque auprès des consommateurs soucieux de l'environnement.

Grâce à l'utilisation de capteurs IoT, de l'analyse de données en temps réel, de la blockchain et de l'automatisation des processus., les entreprises peuvent améliorer leur visibilité, surveiller et optimiser leur SC pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, s'assurer du respect des droits de l'Homme, minimiser les déchets et maximiser l'utilisation des ressources.

Pour cette raison, les entreprises doivent s'engager dans un processus de transition progressif qui nécessite des investissements importants en termes de technologie et de qualification du personnel. En fin de compte, l'utilisation des technologies 4.0 dans la supplychain verte est une étape cruciale vers une économie durable et une planète plus verte pour les générations futures.

⁴⁸ <https://www.sap.com/products/spend-management/supplier-risk.html>



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



INDUSTRIE 4.0: ENJEUX POUR UNE SUPPLY CHAIN VERTE ET DURABLE

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Abdelghani CHERKAOUI

**Ecole Mohammadia d'Ingénieurs
(EMI)**

L'industrie du futur (ou industrie 5.0) est un concept relativement nouveau qui vise à combiner les avantages de l'automatisation et de la robotique avec l'expertise humaine pour créer une production plus efficace, durable et éthique. Il est primordial d'avoir une feuille de route pour aider les entreprises à se préparer à cette nouvelle ère de l'industrie ; mais une feuille de route est limitée aux propriétés contextuelles dans lesquelles elle a été élaborée notamment en ce qui concerne le potentiel numérique de l'organisation et sa disposition aux changements « Readiness for change ».

Les modèles de maturité (MM) permettent une contextualisation et une évaluation objective grâce à des critères prédéfinis. Dans notre intervention nous présentons quelques définitions de l'industrie du futur, après on va essayer de répondre à la question de savoir si les modèles de maturités existants dans l'industrie 4.0 peuvent constituer un point d'appui pour développer des modèles de maturité plus adaptés à une industrie durable, résiliente et centrée sur l'humain. Dans la troisième partie nous essayons de comprendre comment ce phénomène encore mal défini peut être abordé. Dans la deuxième et troisième partie on s'est basé sur des travaux de recherche d'équipes des universités de Leipzig, Kaunas, Cowan, Rome Tor Vergata, Tun Hussein, UCSI et Sains.

INTRODUCTION

L'industrie est un pilier de l'économie mondiale, et cela depuis la révolution industrielle au début du 19^{ème} siècle jusqu'à aujourd'hui (Industrie 1.0 jusqu'à industrie 4.0). Le défi étant d'aller vers une industrie du futur plus durable, centrée sur l'humain et résiliente.

On cherche une transformation majeure de l'industrie manufacturière. Cette transformation est motivée par l'évolution des technologies numériques, telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, la robotique avancée ou l'automatisation, l'impression 3D, la réalité augmentée, la réalité virtuelle et les jumeaux numériques.

Ainsi L'industrie du futur utilisera de plus en plus de technologies pour améliorer la productivité, la qualité et la sécurité dans des usines intelligentes. Elle utilisera également l'analyse de données pour surveiller les machines et les processus, détecter les problèmes potentiels et permettre une maintenance prédictive.

L'industrie du futur aura également un impact sur les emplois, car elle modifierait les compétences requises pour travailler dans l'industrie manufacturière. Les travailleurs devront être en mesure de travailler en étroite collaboration avec les technologies numériques et de s'adapter à des environnements de travail plus automatisés.

En somme, l'industrie du futur serait un changement majeur de l'industrie qui utilise les technologies numériques pour améliorer la productivité et la résilience, la qualité et la durabilité tout en mettant l'humain au centre de ses préoccupations qu'ils soient employés ou partenaires.

Les spécialistes estiment que la nouvelle industrie aura le potentiel de dépasser la productivité de l'industrie 4.0, axée sur le profit, et de promouvoir des objectifs de développement durable, qui caractériseront l'industrie du futur, tels que le centrage sur l'humain, la durabilité socio-environnementale et la résilience.

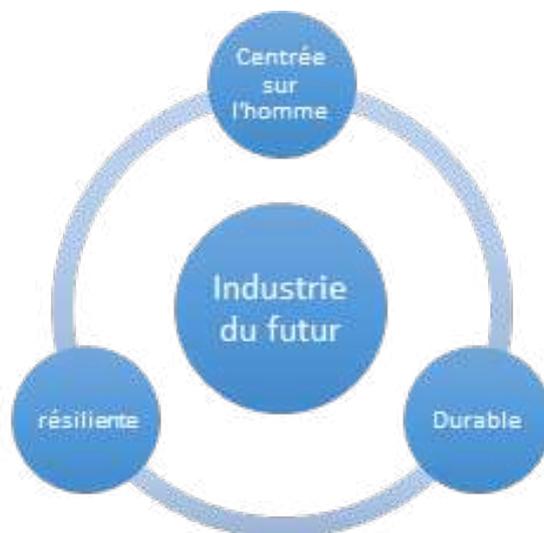


Figure 1 : triptyque de l'industrie du futur

Cependant, peu de choses ont été faites pour comprendre comment ce phénomène mal défini peut produire les valeurs de développement durable qu'il laisse entrevoir en dépit de ces promesses spéculatives.

Selon une étude réalisée en 2020, les entreprises ayant un niveau élevé de numérisation et une stratégie de numérisation réussie étaient mieux à même de résister aux adversités de la pandémie, par exemple en travaillant de manière plus flexible et en continuant à fonctionner pendant l'arrêt de l'activité.

Même si la nécessité d'une transformation numérique a été reconnue par plus de 80 % des entreprises interrogées, seules 11 % d'entre elles ont mis en œuvre avec succès une stratégie de développement durable. Cela montre un besoin évident de soutien et d'expertise.

Modèles de maturité

Pour implémenter une industrie du futur, la première étape de planification et d'élaboration d'une stratégie de développement durable réussie consiste à déterminer l'état actuel, qui est décrit par le niveau de maturité de développement durable.

Celui-ci peut être déterminé grâce à des critères prédéfinis. Il est utile, par exemple, pour identifier les forces et le potentiel des processus organisationnels. Les modèles de maturité (MM) permettent donc une évaluation objective et, en outre, une analyse d'impact.

Les petites et moyennes entreprises (PME) sont confrontées à des défis majeurs car elles disposent de ressources limitées pour mettre en œuvre une stratégie de développement durable réussie. C'est pourquoi l'utilisation de modèles de maturité (MM) est un outil précieux pour façonner la transition vers une industrie du futur.

Un MM peut donc montrer comment les capacités d'une organisation évoluent progressivement le long d'un chemin de maturité attendu, souhaité ou logique. Le degré de maturité peut être mesuré qualitativement ou quantitativement de manière discrète ou continue.

On peut distinguer trois objectifs spécifiques à l'application des MM :

- a. Descriptifs : modèles conçus pour déterminer l'état réel.
- b. Prescriptifs : modèles normatifs qui fournissent des recommandations claires pour l'action et des lignes directrices pour le développement.
- c. Comparatifs : modèles permettant de situer et de comparer les entreprises et les organisations en interne et en externe.

La figure 2 montre un exemple d'échelle de maturité et de critères prédéfinis pour décrire la maturité :

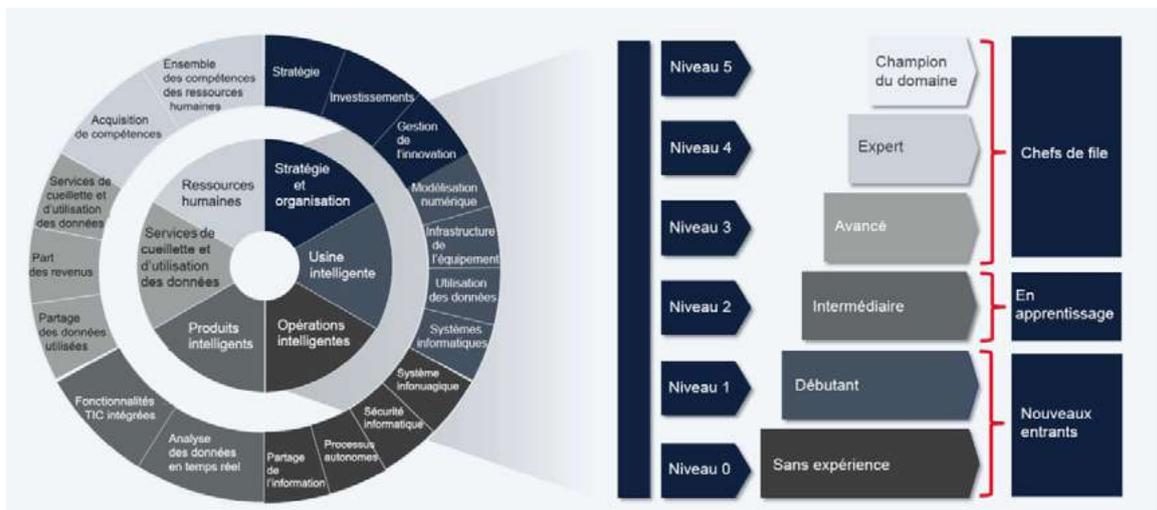


Figure 2 Modèle de Maturité (MM)

Des critères tels que les compétences en matière de gestion des nouvelles technologies, les dimensions écologiques et économiques, la motivation et le bien-

être des personnes, la dimension sociale, en somme les approches et les mesures centrées sur l'homme sont considérés comme des facteurs de réussite importants pour une transformation plus durable.

Dans un document d'orientation pour 2021, la Commission européenne décrit l'industrie dans le futur comme étant «plus résistante à l'avenir, résiliente, durable et centrée sur les personnes» (voir la figure 3 pour un résumé des trois piliers de l'industrie du futur).

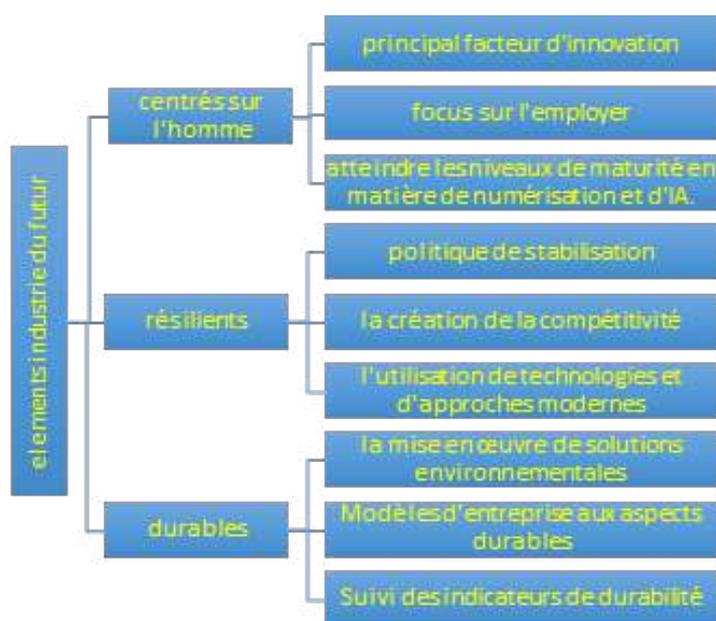


Figure 3 éléments de l'industrie du futur

Une approche de la transformation centrée sur l'homme signifie que l'on se concentre sur les besoins et les intérêts des personnes plutôt que de considérer la technologie comme le seul acteur.

Au lieu de considérer les personnes en termes de développement nécessaire de leurs compétences face à la technologie nouvellement mise en œuvre dans le cadre du processus de transformation, une approche centrée sur l'humain signifie également explorer les possibilités d'alléger la charge des employés (par exemple, en traitant d'énormes quantités de données) et de préserver leur autonomie.

En outre, les risques de sécurité au niveau des principes éthiques, de l'intégrité physique et du respect des politiques de confidentialité des données doivent être pris

en compte pour garantir le bien-être social dans l'entreprise numérisée. Il en résulte une transformation vers les personnes et non l'inverse.

En raison de l'absence de Model de Maturité(MM) actuellement développés pour l'industrie du futur, une approche serait d'examiner l'état actuel des connaissances scientifiques et, par conséquent, à se concentrer sur les MM dans le contexte de l'industrie 4.0 (Ci-dessous, figure 4, quelques exemples de modèle de maturité de l'industrie 4.0).

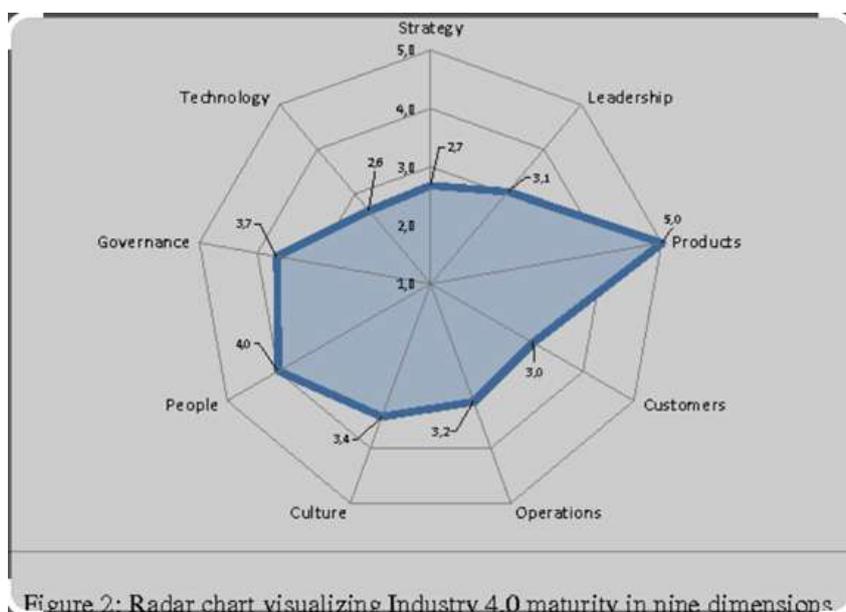


Figure 4 exemples de dimensions de Modèles de Maturité

On voudrait savoir si les MM de l'industrie 4.0 actuellement existants offrent une approche centrée sur l'homme et sont donc conformes au paradigme de l'industrie du futur nouvellement défini et chercher à savoir si Les modèles de maturité existants pour l'évaluation de l'industrie 4.0 seront-ils également adaptés au processus de transformation de l'industrie du futur et à des exigences élargies, en particulier pour les PME ?

Pour répondre à ces questions, une analyse documentaire de l'état actuel de la recherche concernant l'évaluation du degré de numérisation dans le contexte de la mise en œuvre de l'IA centrée sur l'homme dans les PME a été réalisée par différentes équipes de recherche notamment l'équipe de Franziska Hein-Pensel, Heiner Winkler, Anja Brückner, Mandy Wölke, IrenJabs, Ines Jasmin Mayan, AmitKirschenbaum, Julia Friedrich, Christian Zinke-Wehlmann de l'University of Leipzig, Leipzig, Germany

L'examen des éléments constitutifs des MM a permis d'identifier les neuf catégories suivantes grâce à la catégorisation systématique des dimensions des MM :

1. Stratégie et gestion,
2. Culture d'entreprise,
3. Organisation et processus,
4. Produits et services,
5. Employés,
6. Technologie,
7. Données,
8. Clients
9. Environnement de l'entreprise.

On peut ainsi dégager de cette analyse deux contributions :

1. Premièrement, en analysant systématiquement les MM de pointe, ces recherches offrent une vue d'ensemble des dimensions clés utilisées dans l'évaluation de l'état de préparation de l'industrie 4.0.
2. Deuxièmement, après avoir regroupé les dimensions en ces neuf catégories, les lacunes et les exigences pour une mise en œuvre réussie et durable de l'industrie du futur dans l'industrie manufacturière en général et les PME en

particulier ont pu être identifiées

L'objectif principal de l'étude menée par l'équipe de l'université de Leipzig en Allemagne est la contextualisation des MM actuellement disponibles. Ainsi, lors de la comparaison des modèles, une attention particulière a été accordée aux aspects suivants :

- a. L'objectif de recherche énoncé en référence aux trois piliers de l'industrie du futur (conception centrée sur l'humain, résilience et durabilité),
- b. Leur évaluation empirique,
- c. Leur applicabilité pour les PME
- d. Leur résultat, à savoir s'ils offrent des recommandations d'action ou s'ils aident plutôt à classer l'entreprise dans son ensemble

Les résultats de l'étude montrent que 5 des 24 MM ont mentionné les avantages pour les employés dans leur motivation pour un nouveau MM, et montrent donc de légers signes d'une approche centrée sur l'homme.

- Cependant, cinq MM soulignent des aspects tels que le bien-être des employés, l'autonomie, ainsi que des dimensions telles que la protection de la vie privée et les règles éthiques.
- Certains MM impliquent une utilisation de la technologie centrée sur l'humain dans leur dernier niveau de maturité. Cela inclut les dimensions "Stratégie commerciale" et "Gestion des connaissances".

L'examen des catégories a révélé que :

- La catégorie Technologie était présente dans tous les modèles.
- Elle est suivie par les catégories Organisation et Processus, et Stratégie et Management, avec chacune 22 MM les concernant.
- Les catégories Client et Environnement de l'entreprise, avec cinq et sept mentions chacune, ont été les moins prises en compte.

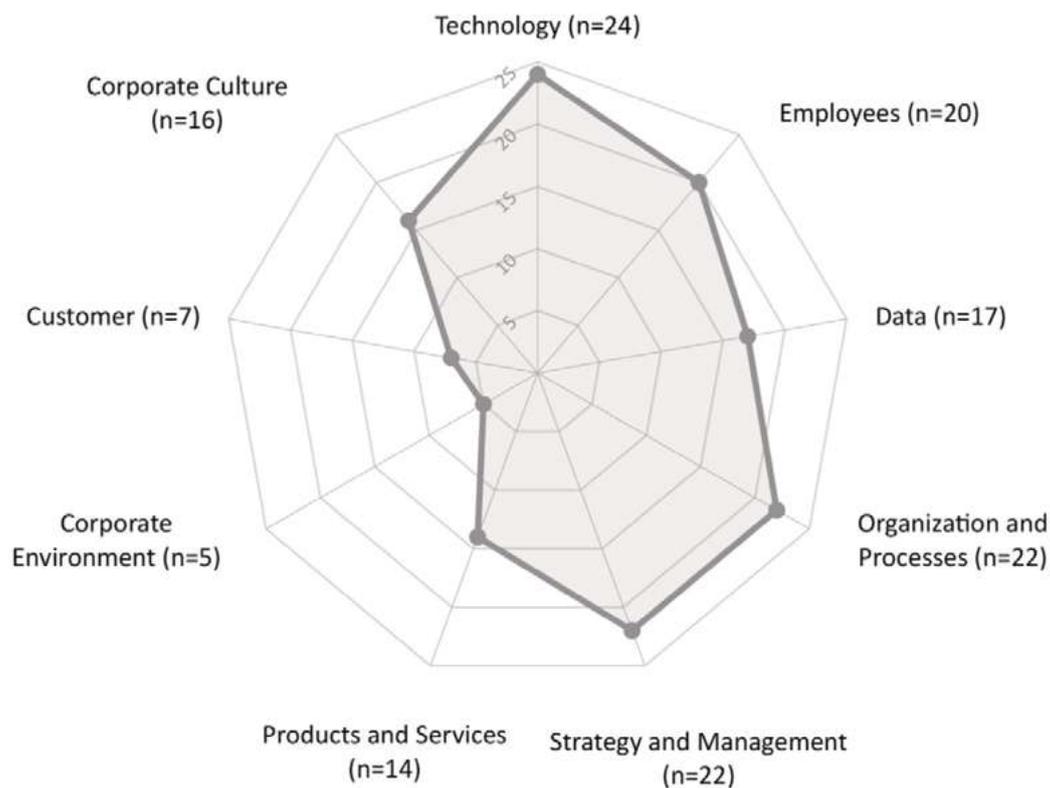


Figure 5 Dimensions et nombre de citations

DISCUSSION

- Cette étude peut être résumée en affirmant qu'il y a un manque d'approches centrées sur l'humain dans les MM actuels pour les PME.
- Les résultats montrent qu'aucun des modèles analysés n'est basé sur une approche centrée sur l'homme et n'est totalement adapté au processus de transformation numérique pour l'industrie du futur.
- Néanmoins, les approches actuelles offrent un point de départ pour développer de manière holistique les MM pour l'industrie du futur avec des thèmes centraux tels que la flexibilité, la durabilité, l'orientation vers les personnes, la résilience et l'efficacité des ressources.
- Sur la base de ces résultats, les MM actuelles doivent être étendues dans les domaines suivants : avantages pour la vie professionnelle des employés, participation des employés, éthique organisationnelle, prise en compte de

toutes les couches organisationnelles, applicabilité intersectorielle.

- Les résultats indiquent que, si tous les MM ont une approche essentiellement technique, aucun MM examiné ne présente une approche centrée sur l'humain comme point de départ des processus de transformation, et seuls quelques MM incluent certains aspects centrés sur l'humain tels que les besoins des employés.

Une fois qu'on a évalué la maturité et établi son niveau, on choisira les projets prioritaires pour une industrie du futur et proposer une feuille de route stratégique pour la mise en œuvre des valeurs de durabilité, de résilience et de centricité sur l'homme.

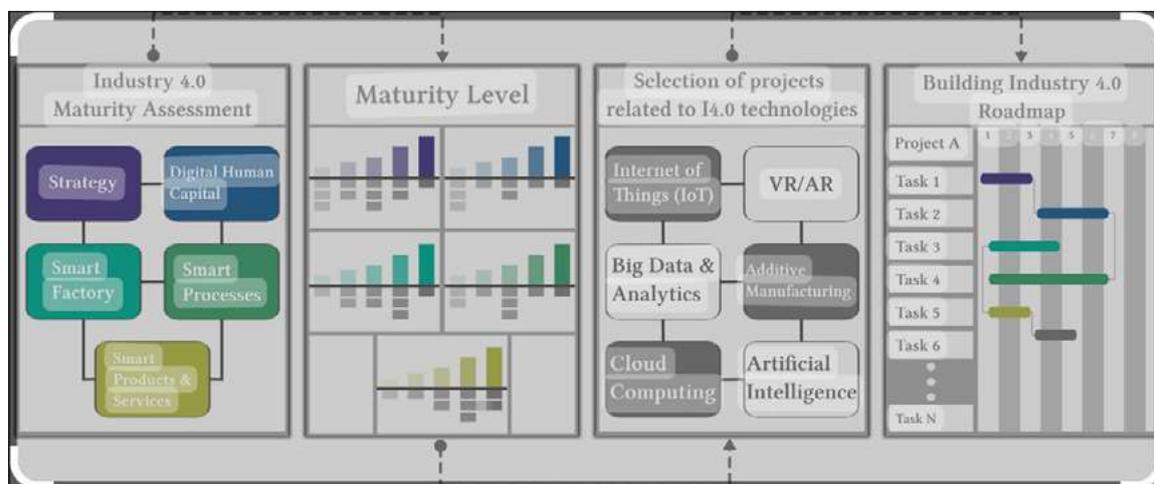


Figure 6 Passage du Modèle de Maturité 4.0 à la feuille de route pour le futur

MODÈLE DE RÉFÉRENCE POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR ET FEUILLE DE ROUTE :

Les spécialistes estiment que seule une prise en compte attentive non seulement des aspects techniques, mais aussi des besoins de toutes les parties prenantes impliquées et des processus concernés, peut promouvoir des objectifs de développement durable tels que le centrage sur l'humain, la durabilité socio-environnementale et la résilience.

Cependant, peu de choses ont été faites pour comprendre comment ces phénomènes mal définis peuvent produire les valeurs de développement durable qu'ils laissent entrevoir en dépit de ces promesses spéculatives. Une fois qu'on a évalué la maturité et établi son niveau, on choisira les projets prioritaires pour une industrie du futur et

proposer une feuille de route.

Pour combler cette lacune, nous présentons une étude réalisée par une équipe de chercheurs (Morteza Ghobakhloo, Mohammad Iranmanesh, Muhammad Faraz Mubarak, Mobashar Mubarik, Abderahman Rejeb et Mehrbakhsh Nilashi) appartenant à plusieurs universités (Lithuanie, Australie, Malaisie et Italie) qui a élaboré une feuille de route stratégique qui explique le mécanisme par lequel l'industrie du futur remplit les fonctions de développement durable centré sur l'humain et résilient qu'elle est censée remplir.

L'étude a d'abord développé et présenté un modèle de référence de l'industrie du futur qui décrit les propriétés techniques et fonctionnelles de ce phénomène. L'étude a ensuite réalisé une synthèse centrée sur le contenu de la littérature et identifié les fonctions de développement durable de l'industrie du futur.

Ces chercheurs ont utilisé la technique de modélisation structurelle interprétative qui a consisté à recueillir les opinions de 11 experts de l'industrie du futur dans le cadre de réunions de groupes d'experts. Les résultats ont révélé que cette industrie apporte des valeurs de développement durable, résilient et centré sur l'homme par le biais de 16 fonctions :

1. **IntIntSys** : la fonction d'intégration et d'interopérabilité des systèmes, (SII=System integration and interoperability)
2. **ComTemRée** : la fonction de communication en temps réel (RTC=Real-time communication)
3. **IntResVal** : la fonction de l'intégration des réseaux de valeur (VUI=Value network integration)
4. **ParTraDon** : la fonction du Partage et de la transparence des données (DST=Data sharing and transparency) ☒
5. **AutoIntel** : la fonction de l'automatisation intelligente (INA= Intelligent automation)
6. **InnOuvDur** : la fonction d'innovation ouverte et durable (OSI= Open sustainable innovation).
7. **AmeComRec** : la fonction de l'amélioration des compétences et du recyclage (UPR=Upskilling and reskilling). ☒

8. AssTecEmp : la fonction de l'assistance technique aux employés (ETA=Employee technical assistance)
9. ModChaApp : la fonction de la modularité de la chaîne d'approvisionnement (SCM=Supply chain modularity).
10. RefIDurab : Réflexion durable (STH=Sustainable thinking). ☒
11. SuiProAff : la fonction de suivi des processus d'affaires (BPM= Business process monitoring)
12. OriSerPer : la fonction Orientation vers le service et la personnalisation (SOP= Service-orientation and personalization)
13. IntEneRen : la fonction d'intégration des énergies renouvelables (RIN=Renewable integration)
14. ProCirInt : La fonction des produits circulaires (CIP= intelligent Circular intelligent products)
15. EffOpeRes : la fonction d'efficacité des opérations et des ressources (ORE=Operational and resource efficiency)
16. AdaChaApp : La fonction d'adaptabilité de la chaîne d'approvisionnement (SCA=Supply chain adaptability)

Il faut noter que l'industrie 4.0 est très bien étudiée, et la littérature fournit des indications précieuses sur le mécanisme sous-jacent par lequel l'industrie 4.0 délivre les valeurs prévues, telles que: la productivité de la fabrication, l'innovation de la chaîne d'approvisionnement, la fabrication durable et l'énergie durable, Mais peu de choses ont été faites pour comprendre comment un phénomène de transformation tel que l'industrie du futur et ses fonctions sous-jacentes peuvent interagir avec divers objectifs que sont la résilience économique, la durabilité environnementale et le centrage sur l'humain. Les auteurs précités ont tenté de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les composantes sous-jacentes et les valeurs de durabilité de l'industrie du futur et comment cette industrie peut-elle apporter des valeurs de développement durable, résilient et centré sur l'humain ?

Pour répondre à l'ambiguïté et à la complexité de ce phénomène, les auteurs ont développé et présenté un modèle de référence de l'industrie du futur (voir figure

7). Ce modèle de référence offre une vue d'ensemble de ce phénomène, en décrivant les composantes technologiques, les principes, les éléments et les objectifs de valeur fondamentaux de l'industrie du futur.

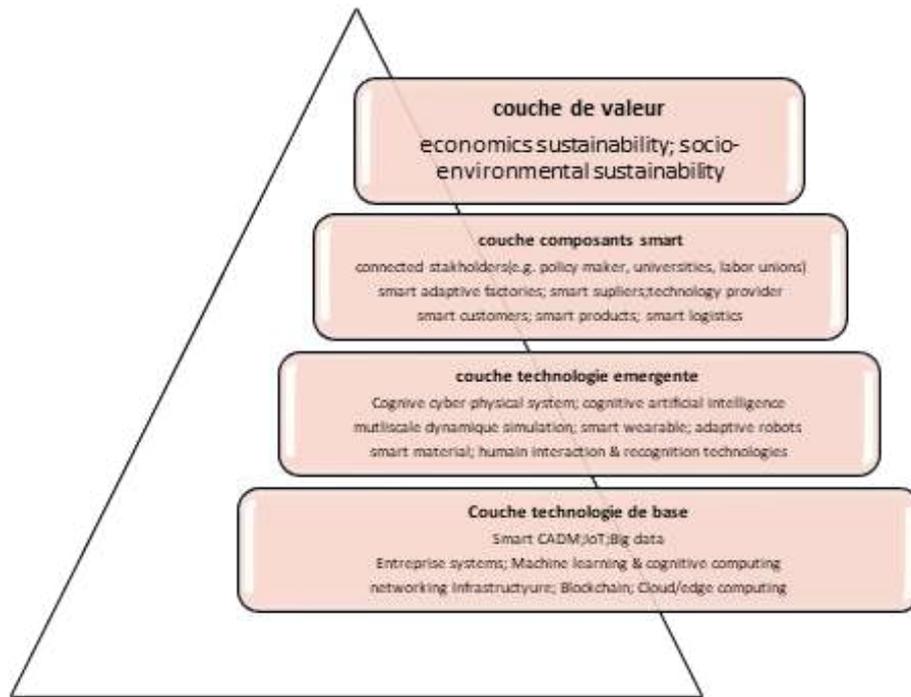


Figure 7 Modèle de référence de l'industrie du futur

Cette figure explique que les technologies de base constituent la couche fondamentale du modèle de référence de l'Industrie du futur. Cette couche se compose de technologies qui sont apparues et ont mûri depuis la troisième révolution industrielle et sont devenues commercialement abordables et applicables depuis l'émergence de l'industrie 4.0.



Figure 8 Technologies de Base

Les outils intelligents de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CFAO, Impression 3D), le cloud/edgecomputing, l'analyse des big-data et les systèmes d'entreprises sont des exemples de technologies de base qui permettent d'atteindre les principaux objectifs de croissance de la production et de l'efficacité des écosystèmes commerciaux numérisés dans le cadre de l'Industrie 4.0 ;

L'industrie du futur s'appuie également sur les innovations technologiques les plus importantes répertoriées dans les technologies émergentes ou nouvelles du modèle de référence pour atteindre ses objectifs fondamentaux centré sur l'humain, résilient et durable.



Figure 9 Technologies émergentes

La figure 9 montre que les systèmes cyber-physiques cognitifs (CCPS), les CAI(cognitive AI) et les vêtements intelligents font partie des technologies émergentes de ce phénomène.Par exemple, la CCPS implique l'intégration de la conscience de la machine dans la CPS et le fonctionnement du nouveau cycle sens-analyse-informatique-action.

Les caractéristiques d'auto-conscience et d'auto-surveillance de CCPS lui permettent de reconnaître le rôle de la cognition humaine en offrant une symbiose homme-machine plus sûre et plus fluide.

Pour adopter une approche centrée sur l'homme dans l'environnement de fabrication, l'industrie du futur s'appuiera sur les robots adaptatifs, les CCPS et les technologies d'interaction et de reconnaissance humaine pour élaborer une solution centrée sur l'homme qui donne la priorité aux besoins fondamentaux des travailleurs humains tout en maintenant ou en améliorant la productivité industrielle.Par exemple, les robots adaptatifs, complétés par l'informatique de pointe, la CAI et l'informatique cognitive,

atténuent les limites des robots traditionnels (sécurité restreinte pour la collaboration humaine) et des robots collaboratifs (charge et vitesse limitées) pour offrir une productivité élevée tout en garantissant la sécurité et l'intégrité de l'environnement.

Les avancées en matière de technologies des vêtements intelligents offrent également des implications importantes pour le développement d'opérations industrielles davantage centrées sur l'humain. Par exemple, les outils de protection intelligents bio-inspirés ou les dispositifs portables intelligents portés sur la tête peuvent améliorer considérablement la capacité d'information, l'intelligence, la stabilité et la productivité de la main-d'œuvre humaine dans les environnements industriels.

Dans le cadre de l'industrie du futur, les vêtements intelligents devraient s'intégrer aux CCPS, à l'informatique de pointe et à l'IdO pour communiquer de manière transparente avec divers composants de l'environnement de travail intelligent afin de fonctionner comme prévu.

Concernant l'objectif de résilience de l'industrie du futur, les entreprises peuvent s'appuyer sur la simulation dynamique, le CAI et le Big-data pour développer une réplique numérique des opérations de la chaîne d'approvisionnement et identifier les goulots d'étranglement, les maillons faibles, les risques et les perturbateurs imminents afin d'améliorer l'adaptabilité et la réactivité des réseaux d'approvisionnement.

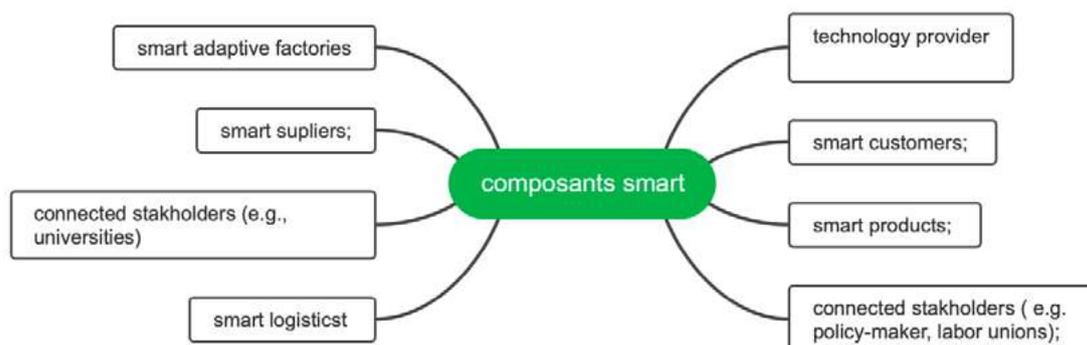


Figure 10 Composants smart

La troisième couche du modèle de référence, figure 10, représente les éléments essentiels de ce phénomène. Comme son prédécesseur, l'Industrie du futur représente un changement de paradigme impliquant la numérisation des chaînes industrielles

de valeur. Néanmoins, l'industrie du futur diffère de l'industrie 4.0 car elle adopte la perspective des parties prenantes, en adoptant une approche centrée sur les parties prenantes pour définir la portée de l'impact de ce phénomène et la combinaison de livraison de valeur attendue. De manière cohérente, la couche de composants smart du modèle de référence se compose de clients, de fournisseurs, de logisticiens, de fournisseurs de technologies et d'usines adaptatives intelligentes, qui créent collectivement l'écosystème commercial hyper-connecté et axé sur les données.

Plus important encore, les parties prenantes connectées, telles que les décideurs politiques, les universités et les syndicats, sont des composantes indispensables de l'industrie du futur.

L'intégration des parties prenantes connectées est essentielle pour l'industrie du futur, car il s'agit avant tout d'un phénomène axé sur la technologie, et la majorité des valeurs socio-environnementales ne peuvent être atteintes sans une gouvernance technologique systémique imposée par les parties prenantes pour atteindre les objectifs visés. L'industrie du futur nécessite un gouvernement smart pour répondre aux besoins de ce phénomène en matière de politique, de réglementation, de financement et de gestion de l'innovation.

Résultats et discussions

Le modèle interprétatif du développement durable fondé sur l'industrie du futur, figure 11, et l'analyse MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliqués à un Classement) révèlent collectivement que l'industrie du futur et la transformation industrielle numérique sous-jacente facilitent les objectifs fondamentaux de durabilité, de résilience et de centrage sur l'humain en assurant d'abord la fonction d'intégration et d'interopérabilité des systèmes (IntIntSys).

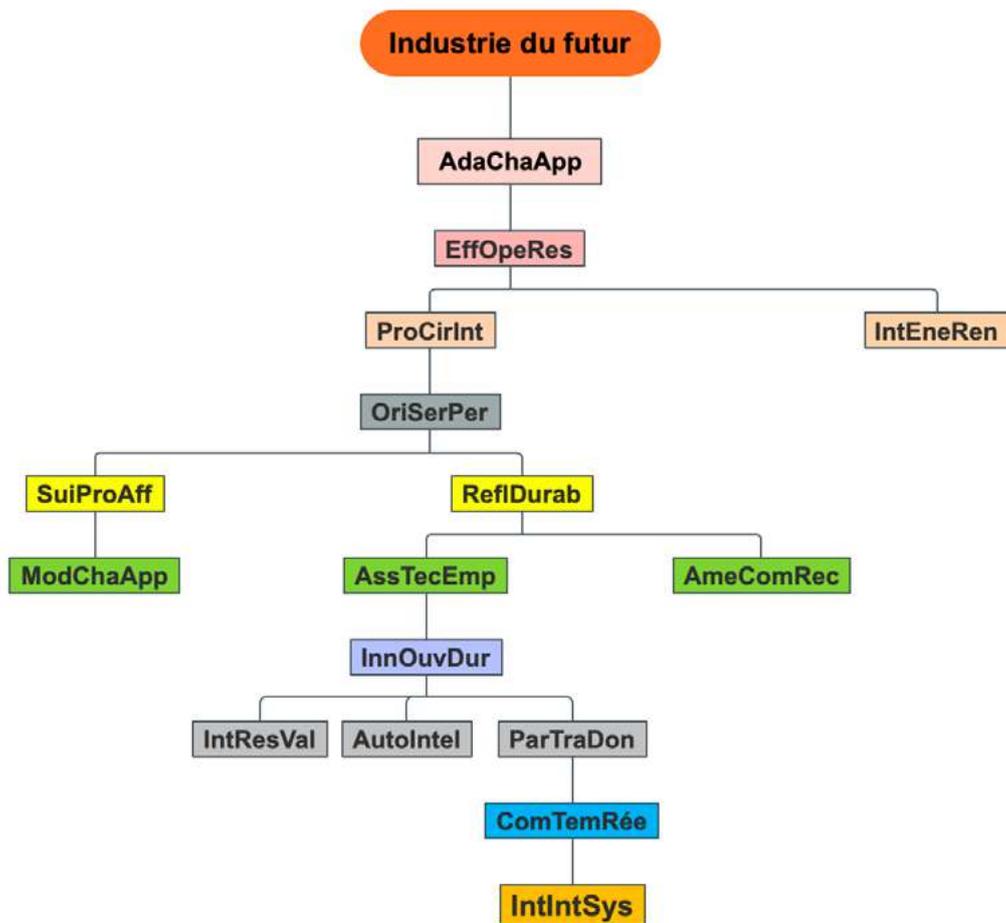


Figure 11 modèle interprétatif du développement durable fondé sur l'industrie du futur

L'objectif principal de l'étude consistait à élaborer une feuille de route décrivant la manière dont l'industrie du futur peut fonctionner pour permettre un développement durable, en particulier en termes de résilience, de durabilité environnementale et de centrage sur l'humain en assurant d'abord la fonction d'intégration et d'interopérabilité des systèmes (IntIntSys).

La partie intégration de la fonction IntIntSys consiste à combiner tous les micromodules de l'écosystème numérique hyper-connecté, tels que les systèmes informatiques, les logiciels, les opérateurs humains ou les dispositifs intelligents, de manière verticale et horizontale au sein des composants intelligents de l'industrie du futur et entre eux.

La partie interopérabilité de la fonction IntIntSys implique la capacité des micromodules des composants intelligents à communiquer entre eux et à se comprendre de manière

transparente.

La IntIntSysa des implications importantes pour divers aspects de l'industrie du futur, car la décentralisation qui en résulte offre à toutes les parties prenantes de l'industrie du futur un accès ouvert, démocratisé et pluraliste à la valeur.

La figures 12 suivante montre que la IntIntSyspermet directement la communication en temps réel (ComTemRée) et l'intégration des réseaux de valeur (IntResVal). LaIntIntSysjoue ce rôle en facilitant l'intégrité des données, l'accès au système et la clarté sémantique.

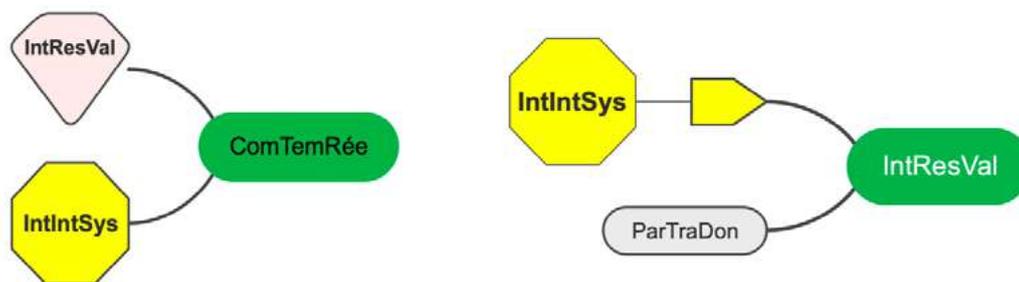


figure 12

La IntResVal fait référence à l'intégration verticale de tous les processus et fonctions de l'entreprise à travers plusieurs couches organisationnelles et à l'intégration horizontale des processus de la chaîne d'approvisionnement impliquant des opérations de fabrication, de logistique et de distribution sans faille. De manière cohérente, l'interface utilisateur virtuelle nécessite l'intégration interne et externe de composants intelligents de l'industrie du futur. La IntResVal est étroitement liée aux composants technologiques intégratifs de l'industrie 4.0, tels que l'CAI, les CCPS, l'loE, la blockchain et le cloud/edgecomputing. La personnalisation des produits, l'agilité de la fabrication, la visibilité des processus et l'amélioration de la confiance et de la collaboration sont des résultats de la IntResVaessentiels aux objectifs de développement durable de l'industrie du futur.

La fonction ComTemRée implique la capacité des micro-modules de l'industrie 4.0 à communiquer et à échanger des données en temps réel lorsque cela est nécessaire. La fonction ComTemRée va au-delà de la communication traditionnelle en temps réel des composants du système de production dans l'atelier et implique

une communication transparente de tous les modules du réseau de valeur. Les dernières avancées en matière de communication industrielle (par exemple, 5G ou 6G), d'IoE et d'IA-edgecomputing sont cruciales pour répondre aux exigences de communication en temps réel dans le cadre de l'industrie du futur. La ComTemRée sert les objectifs de développement durable de l'industrie du futur en améliorant la fiabilité de la production, la sécurité de l'environnement de travail, les processus de décision, la gestion des risques et la réactivité des parties prenantes au niveau des micro-organisations et des réseaux de valeur.

La figure 13 explique que le ComTemRée est essentiel au développement du partage et de la transparence des données (ParTraDon) et de l'automatisation intelligente (AutoIntel), des fonctions qui dépendent largement de l'actualité, de la fiabilité et de la sûreté des données. Le ParTraDon est indispensable à l'industrie du futur, car il répond au besoin de ce phénomène piloté par les données, permettant un partage sécurisé et fiable de données précieuses au sein des frontières organisationnelles et à travers les réseaux de valeur. Dans l'environnement de l'industrie du futur, la ParTraDon garantit que les données sont toujours accessibles, communicables et vérifiables. Plus important encore, la ParTraDon implique de réglementer la propriété des données et le retour à la juste valeur. L'IoE, la blockchain, l'analyse des big data et l'informatique en nuage sont des catalyseurs essentiels de la ParTraDon dans le cadre de l'industrie du futur. La ComTemRée soutient les objectifs de développement durable de l'industrie du futur en améliorant l'expérience client, la visibilité du réseau de valeur, la collaboration du réseau de valeur et la surveillance de la performance environnementale.

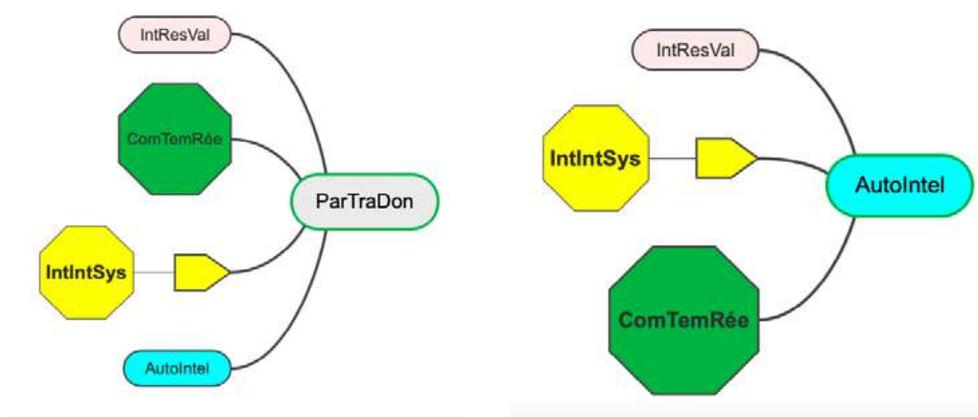


Figure 13

La fonction AutoIntel implique l'utilisation de technologies d'automatisation tels que les robots cognitifs, l'IAO, la gestion intelligente des processus d'entreprise et l'automatisation des processus pour mettre à l'échelle, automatiser et rationaliser les processus décisionnels entre les membres du réseau de valeur. Dans le cadre de l'industrie du futur, la contribution de la AutoIntel aux objectifs de développement durable passe par la simplification des processus, la productivité des ressources, la prévention des accidents industriels et la conformité environnementale. Plus important encore, la AutoIntel peut renforcer la main-d'œuvre, améliorer la sécurité sur le lieu de travail et accroître la satisfaction professionnelle des employés.

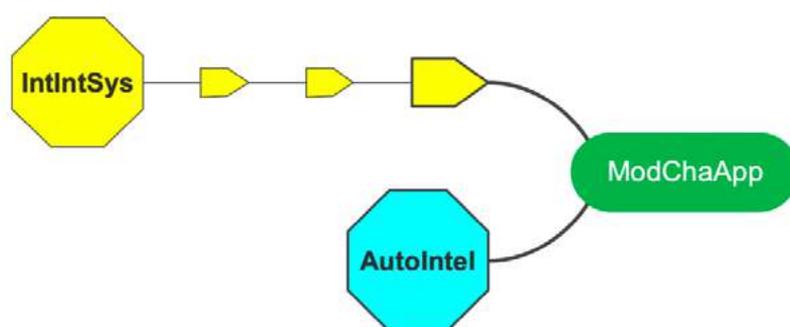


figure 14

La figure 14 montre que La AutoIntel, à son tour, permet la fonction de modularité de la chaîne d'approvisionnement (ModChaApp). La ModChaApp s'appuie sur le concept de réseau d'approvisionnement numérique et vise à fournir des réseaux de valeur évolutifs, agiles et personnalisables. La ModChaApp implique la décomposition de chaînes de valeur complexes comprenant des facteurs adaptatifs intelligents, des canaux de distribution et des fournisseurs en modules reconfigurables. La ModChaApp permet aux chaînes de valeur industrielles de réaménager leurs modules en fonction des besoins du marché et des circonstances environnementales et de développer des modèles commerciaux qui soutiennent les objectifs fondamentaux de l'industrie du futur grâce à une répartition plus équitable de la valeur, à l'adaptation des produits et à la réactivité de la chaîne d'approvisionnement. La ModChaApp s'appuie sur les technologies de l'industrie du futur qui facilitent la décentralisation, permettant aux modules du réseau de valeur de prendre des décisions indépendantes et de fonctionner de manière autonome. La CAI, la CCPS, l'loE et l'edge/fogcomputing sont

des exemples de technologies essentielles à la fonction ModChaApp.

En intégrant les opérations du réseau de valeur et en permettant un partage transparent des données (les fonctions IntResValet ParTraDon), l'industrie du futur assure la fonction d'innovation ouverte et durable (InnOuvDur, figure 15).

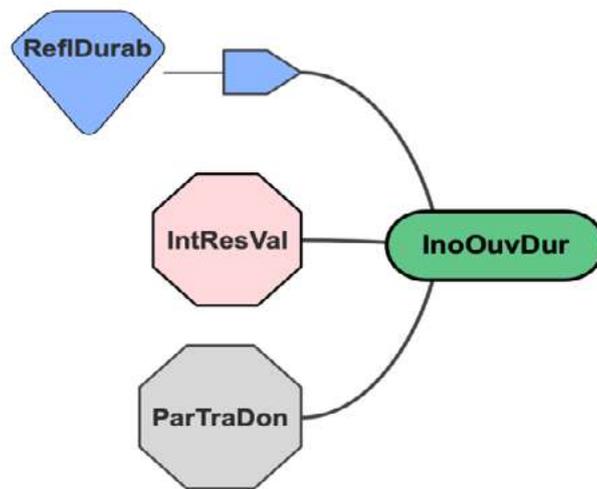
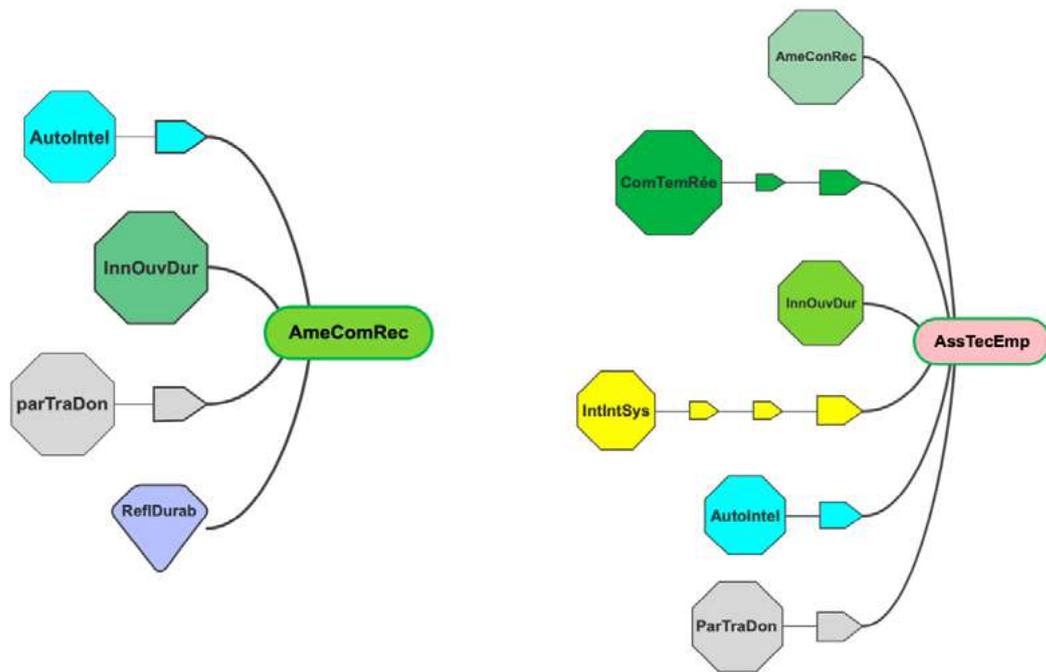


Figure 15

Cet ordre de prestation de la fonction est attendu car la InnOuvDur est gourmande en données et nécessite une collaboration étroite entre les membres du réseau de valeur. La InnOuvDur implique l'utilisation des technologies de l'industrie du futur et des principes techno-fonctionnels qui soutiennent l'intégration de l'innovation ouverte dans le développement de produits, de processus, de services et de modèles commerciaux plus durables. L'ioE, le cloud computing et le big data sont essentiels à la InnOuvDur car ils intègrent les attentes vertes des parties prenantes et des consommateurs dans les processus d'innovation. Sinon, la CADM intelligente (par exemple, les solutions de fabrication additive), les matériaux intelligents et la simulation dynamique (par exemple, le jumelage numérique) transforment les résultats de l'idéation et de l'innovation collaborative en nouveaux produits et processus durables. La réduction de la consommation d'énergie, l'amélioration de l'impact sociétal, l'amélioration du moral des employés et la satisfaction des clients font partie des contributions de la InnOuvDur aux valeurs de développement durable de l'industrie du futur. La figure 16 explique que la InnOuvDur est le catalyseur direct de l'assistance technique aux employés

(AssTecEmp) et de l'amélioration des compétences et du recyclage (AmeComRec).



Figures 16

La AssTecEmp implique l'utilisation de technologies émergentes telles que les robots adaptatifs, les vêtements intelligents et les technologies d'interaction et de reconnaissance humaines (HIRT) qui favorisent la symbiose main-d'œuvre/machine. Au lieu de remplacer les employés par des robots autonomes, la AssTecEmp favorise les approches centrées sur l'humain dans les opérations industrielles, comme l'opérateur augmenté ou collaboratif. En conséquence, la AssTecEmp implique l'automatisation des tâches fastidieuses et non ergonomiques, la mise à disposition des employés de l'informations en temps réel pour une meilleure prise de décision et l'amélioration des compétences des employés pour interagir avec les systèmes industriels numériques qui progressent rapidement. La AssTecEmp contribue principalement aux valeurs socio-économiques de l'industrie du futur, car elle améliore la productivité, la santé, la satisfaction au travail, la performance décisionnelle et l'autonomie des employés.

La AmeComRec répond directement aux préoccupations de l'industrie 4.0 en matière de déplacement d'emplois et de chômage. La AmeComRec implique de s'appuyer sur les technologies et les principes de l'industrie du futur pour concevoir et mettre en

œuvre de nouveaux programmes de développement des ressources humaines qui :

(1) permettent aux employés d'acquérir de nouvelles compétences pour combler les pénuries de talents existantes et

(2) enseignent aux employés de nouvelles compétences qui les préparent à des emplois nouveaux ou alternatifs causés par la transformation numérique en cours.

L'industrie du futur sert la AmeComRec de diverses manières, comme l'utilisation de la réalité étendue pour améliorer l'efficacité de la formation, l'application de l'IA pour optimiser le parcours professionnel des employés ou l'amélioration du partage des informations et des connaissances au sein et au-delà des frontières organisationnelles. La AmeComRec sert les objectifs de développement durable de l'industrie du futur en répondant à la crise des compétences qui ne cesse de s'aggraver et en améliorant le moral des employés, l'inclusion sociale et la performance de la main-d'œuvre.

En offrant la AssTecEmpet laModChaApp, l'industrie du futur ouvre la voie au développement des fonctions de suivi des processus d'affaires (SuiProAff) et de réflexion durable (ReflDurab). Voir les figures17 et 18.

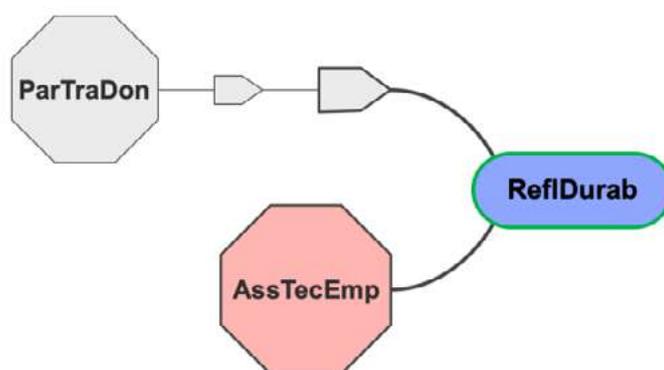


Figure 17

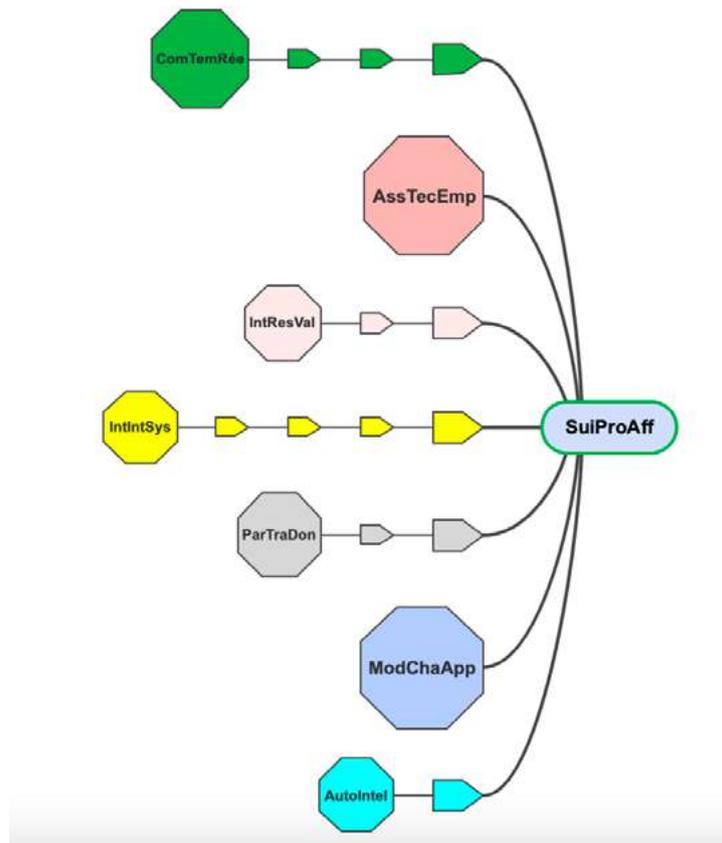


Figure 18

La fonction SuiProAff de l'industrie du futur implique l'analyse et l'examen des processus métier en temps réel afin d'identifier les problèmes de processus critiques existants et émergents. La gestion des processus métier (SuiProAff) comporte de multiples facettes, notamment la surveillance fonctionnelle des applications métier distribuées, la surveillance technique des systèmes (par exemple, le matériel, les logiciels ou les machines) et la surveillance des processus des flux de travail métier. L'industrie du futur fournit la SuiProAff via des technologies et des principes techno-fonctionnels qui prennent en charge la communication en temps réel, la prise de décision décentralisée, la conscience de soi/expressivité et l'intégration homme-machine. La réduction des coûts, l'évolutivité des processus, l'amélioration de l'expérience des employés, la responsabilisation et la satisfaction des clients sont des exemples de contributions que le SuiProAff peut offrir aux valeurs de développement durable de l'industrie du futur.

La fonction ReflDurab exige des entreprises qu'elles placent les opérations durables à côté de la survie institutionnelle comme leurs principaux objectifs organisationnels. Ainsi, la fonction ReflDurab implique de s'appuyer sur les technologies de l'industrie du

futur telles que les matériaux intelligents, le HIRT, le CADM ou la gestion intelligente du cycle de vie des produits, qui permettent aux entreprises de développer et de mettre en œuvre une approche systémique pour intégrer la durabilité et créer une valeur partagée pour les parties prenantes. La ReflDurab sert les objectifs de développement durable de l'industrie du futur en donnant aux entreprises les moyens d'intégrer les questions de durabilité dans les stratégies commerciales de base et de développer des pratiques de gestion durable qui favorisent la résilience, la préservation de l'environnement et la centricité humaine.

LaReflDurabjoue un rôle essentiel pour faciliter la fonction d'intégration des énergies renouvelables (IntEneRen), voir figure 19, et d'orientation vers le service et de personnalisation (OriSerPer), voir figure 20, de l'industrie du futur.

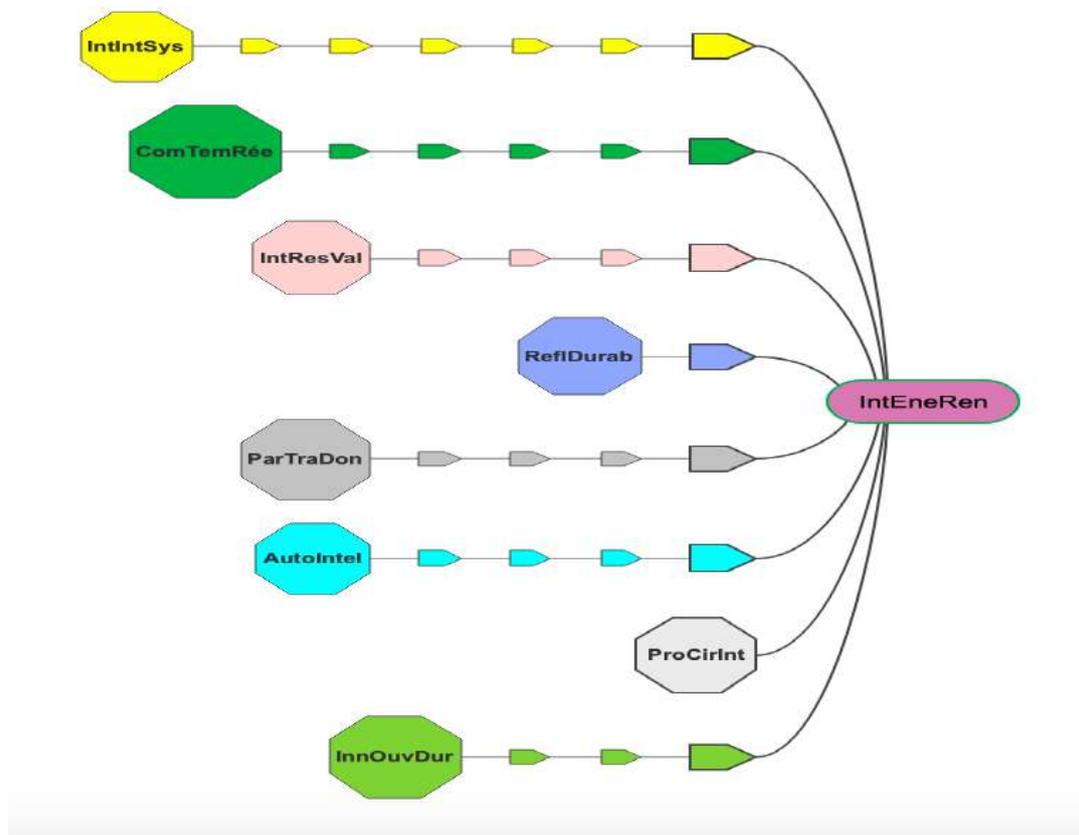


Figure 19

La IntEneRen fait référence à la décarbonisation du secteur de l'énergie par la mise en œuvre et l'intégration de technologies d'énergie renouvelable dans les chaînes d'approvisionnement énergétique. Bien que le prix de ces technologies ait considérablement baissé au cours des dernières années, l'intégration des technologies

d'énergie renouvelable est toujours confrontée à des obstacles techniques (tels que la variabilité ou l'incertitude de l'énergie) et administratifs, comme le manque de réglementations et de politiques. L'industrie du futur assure la fonction IntEneRen en utilisant la Cognitive AI, la simulation dynamique, l'IoE, la décentralisation et d'autres technologies et principes pour améliorer les capacités de production/stockage d'énergie, la connaissance de la situation, la gestion de la distribution, la prévision de la charge et la prévision de la production de ressources. Pour fournir l'IntEneRen, l'industrie du futur facilite également la collaboration entre les parties prenantes des énergies renouvelables afin de faciliter les réglementations et les interventions politiques de soutien.

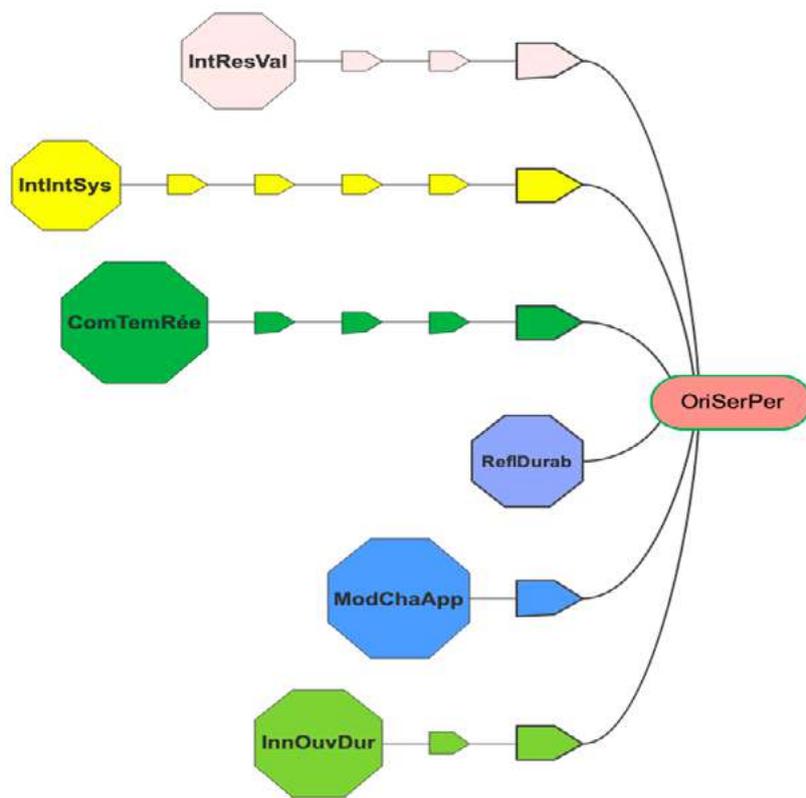


Figure 20

La OriSerPer implique le développement de modèles commerciaux davantage axés sur les services, permettant aux produits et aux actifs des entreprises, tels que les biens intelligents, les installations de production, la capacité d'innovation ou le capital humain, d'être proposés aux clients en tant que services éventuels. La OriSerPer implique également la production à grande échelle de biens et services personnalisés

(voire individualisés). LaOriSerPer est une fonction ambitieuse qui s'appuie sur diverses technologies et principes techno-fonctionnels de l'industrie du futur, tels que l'intégration horizontale/verticale, l'loE, le CADM intelligent et le cloud computing, pour offrir l'intégration nécessaire du réseau de valeur et la flexibilité des processus de production. La OriSerPer offre des implications importantes pour les valeurs de développement durable de l'industrie du futur, telles que la résilience des entreprises, la satisfaction des clients, l'efficacité des ressources et la circularité des produits. Plus important encore, la OriSerPer permet le développement de la fonction des produits circulaires intelligents (ProCirInt),figure 21.

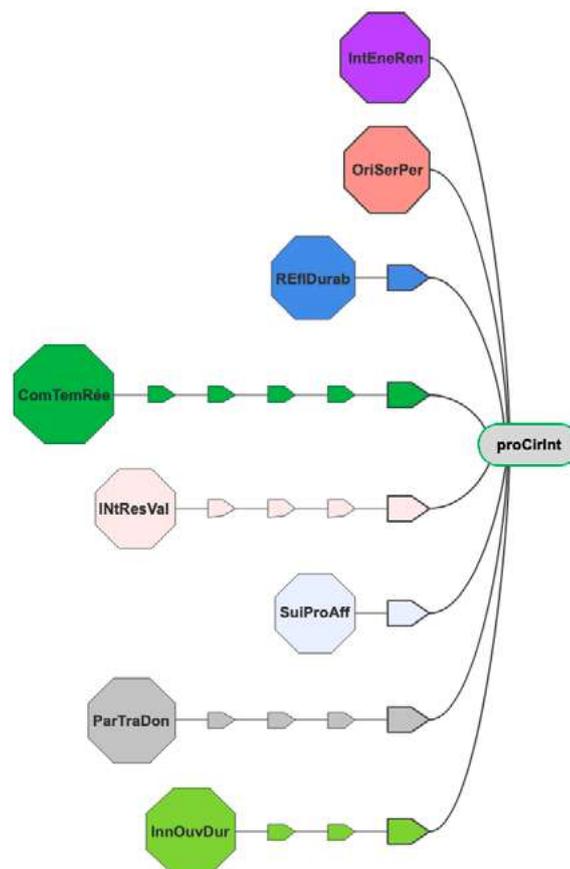


Figure 21

La partie circulaire du ProCirInt implique l'utilisation des technologies de l'industrie du futur pour concevoir des produits qui peuvent fonctionner dans le cadre de l'économie circulaire. La ProCirIntgarantit que les produits sont conçus et développés pour être respectueux de l'environnement tout au long de leur cycle de vie. Ainsi, la ProCirIntimplique l'utilisation de matériaux intelligents, la gestion intelligente du

cycle de vie des produits, l'loE et la CAO intelligente pour développer des produits qui éliminent les déchets, la pollution et les émissions et peuvent être utilisés plus longtemps de manière productive. La partie intelligente du ProCirInt repose essentiellement sur la matérialisation du concept de produit intelligent. Dans le cadre de l'industrie du futur, un produit intelligent peut être caractérisé comme étant équipé de capteurs, piloté par l'IA et fabriqué à partir de matériaux vivants intelligents. Grâce à des produits intelligents et circulaires capables de surveiller et de communiquer leur empreinte environnementale tout au long de leur cycle de vie, la ProCirInt stimule les valeurs de développement durable de l'industrie du futur concernant la résilience de la chaîne d'approvisionnement, l'innovation durable, le développement économique et la protection de l'environnement.

En s'appuyant sur la ProCirInt, l'industrie du futur peut assurer la fonction d'efficacité des opérations et des ressources (EffOpeRes), voir figure 22.

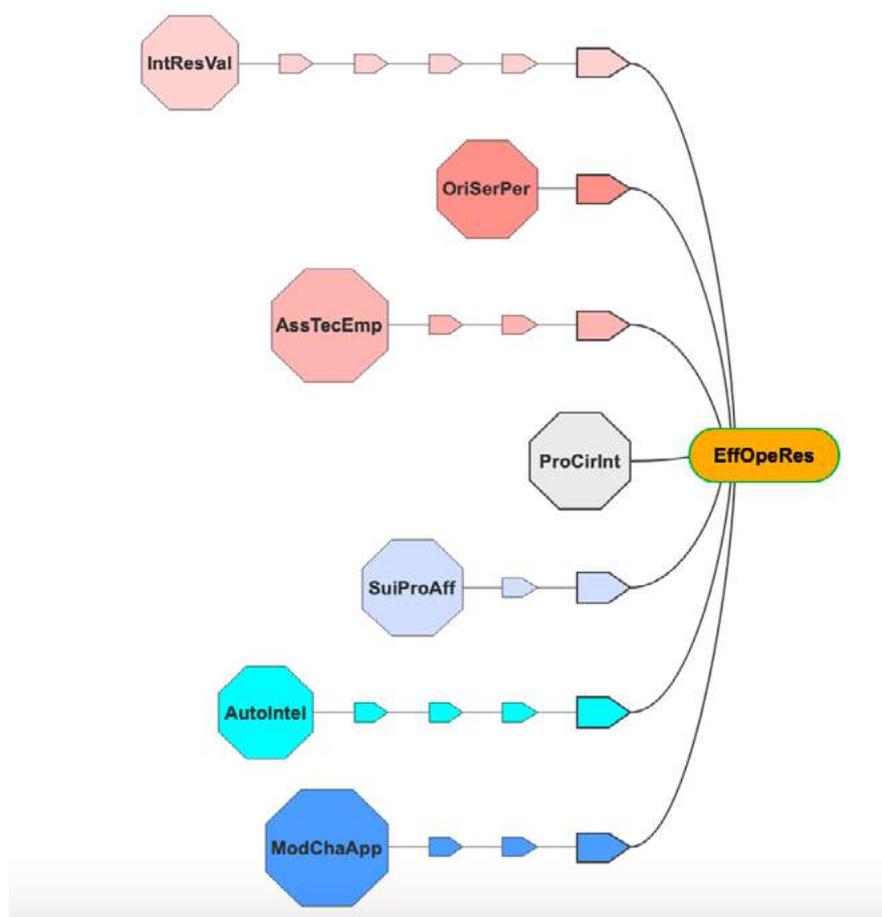


Figure 22

Cette fonction implique l'utilisation des technologies et des principes de l'industrie du futur pour l'efficacité industrielle à différents niveaux. Par exemple, les systèmes loE et CCPS axés sur les alertes peuvent prévoir et prévenir les risques de production liés aux équipements au niveau de l'usine intelligente. Par ailleurs, les systèmes HIRT et les vêtements intelligents peuvent permettre aux employés d'être plus productifs et plus efficaces au travail. L'automatisation, la communication en temps réel, la décentralisation et les caractéristiques d'intégrabilité de l'industrie du futur permettent en outre aux réseaux d'approvisionnement numériques d'appliquer des améliorations fondées sur les données et exploitables tout au long des opérations de la chaîne d'approvisionnement, en optimisant la consommation des ressources et en réduisant les coûts opérationnels.

La fonction EffOpeRes permet aux entreprises de soutenir les objectifs de développement durable de l'industrie du futur en améliorant l'accessibilité des produits, la création d'emplois, l'agilité des entreprises, la conformité et la circularité.

Enfin, et c'est important, la EffOpeSer, complétée par les fonctions précédentes, permet d'assurer la fonction d'adaptabilité de la chaîne d'approvisionnement (AdaChaApp) de l'industrie du futur, voir figure 23 ;

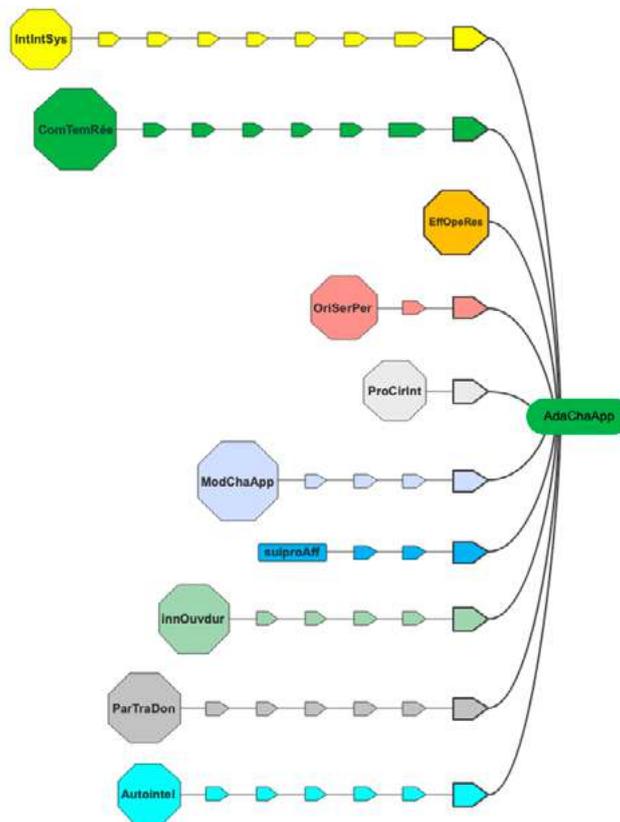


Figure 23

La AdaChaApp consiste à s'appuyer sur les caractéristiques de l'industrie du futur pour identifier de manière proactive les changements structurels du marché et ajuster la conception du réseau de valeur, la composition des modules et les stratégies en conséquence. Il est difficile de développer la AdaChaApp en raison de l'étendue de son impact et de sa dépendance à l'égard d'autres fonctions de développement durable. Par exemple, l'aspect ajustement des produits de la AdaChaApp implique l'utilisation de l'loE, de la GPAO, des robots adaptatifs et de la simulation dynamique pour développer de nouveaux produits ou repenser les produits existants en fonction de l'évolution des préférences des consommateurs. Par ailleurs, la AdaChaApp exige que les chaînes d'approvisionnement s'appuient sur la Cognitive AI, l'informatique cognitive, la communication en temps réel, l'intégration horizontale et d'autres éléments constitutifs de l'industrie du futur pour détecter les perturbations imminentes et concevoir de manière proactive les meilleures stratégies de réponse. La AdaChaApp offre diverses implications pour les valeurs de développement durable de l'industrie du futur, qui se manifestent principalement par l'amélioration de la résilience des entreprises, des chaînes d'approvisionnement et de l'économie.

L'objectif principal de l'étude était d'élaborer une feuille de route décrivant comment l'industrie du futur peut contribuer au développement durable que nous désignons par « IndustrFutur », notamment en termes de résilience, de durabilité environnementale et de centricité sur l'humain.

La figure 24 représente la feuille de route vers la durabilité induite par l'industrie du futur, qui a été élaborée. Dans cette figure, les relations directes indiquées par des flèches vectorielles correspondent aux relations contextuelles retenues ; Cette figure suppose également une relation directe entre chaque fonction et le développement durable ou l'industrie du futur. Les niveaux de placement de la figure 24 correspondent aux niveaux de placement identifiés dans les figures interprétatives de 12 à 23.

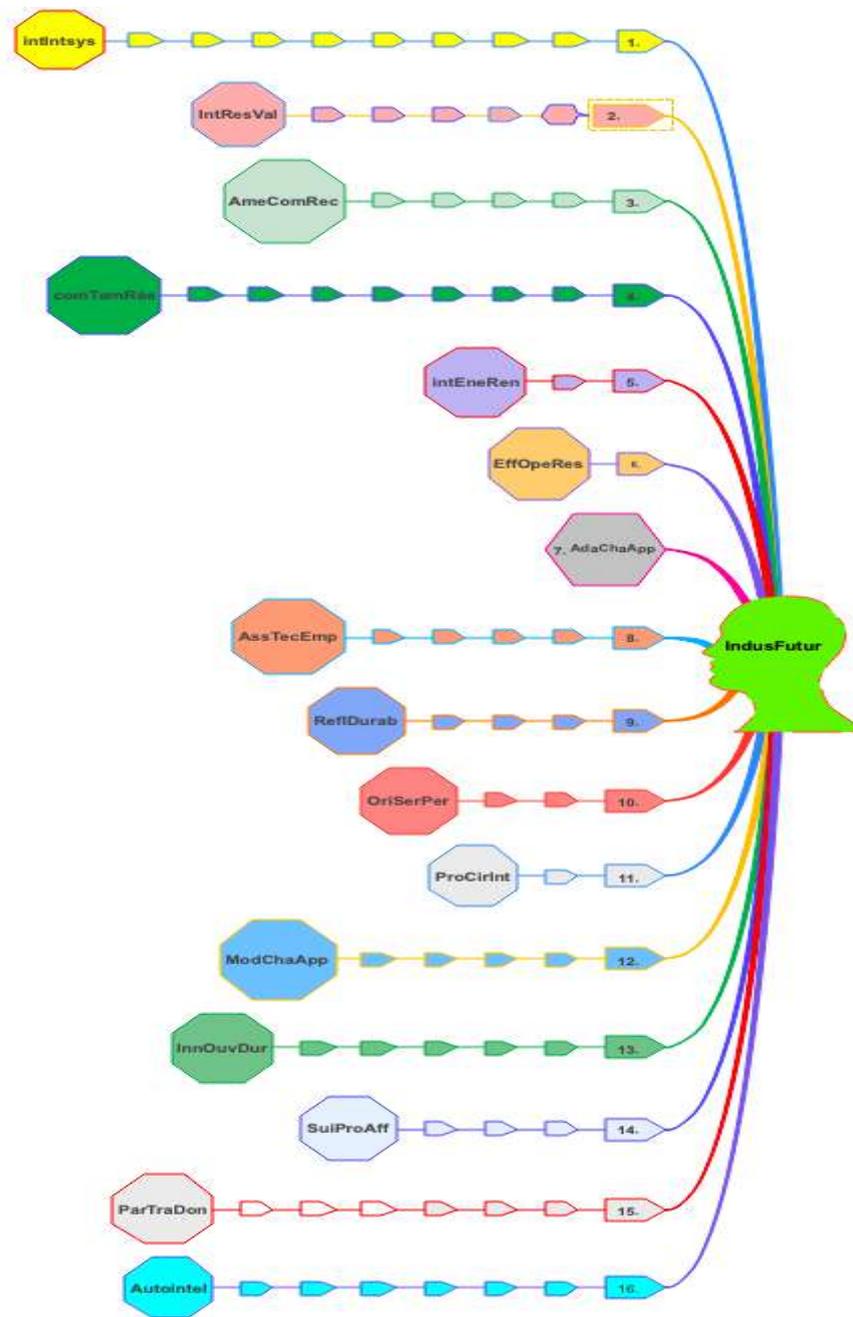


Figure 24

CONCLUSION

Les experts estiment que l'industrie du futur va compléter l'industrie 4.0 et répondre aux préoccupations socio-environnementales de la transformation industrielle numérique en cours. Cette industrie du futur a été annoncée comme devant promouvoir le développement durable. Néanmoins, il n'est pas clair comment cette industrie du futur peut délivrer ses valeurs de développement durable. Pour combler cette lacune, plusieurs chercheurs universitaires ont tenté de proposer des modèles de maturités

(MM) qui peuvent donc montrer comment les capacités d'une organisation évoluent progressivement le long d'un chemin de maturité attendu, souhaité ou logique. Le degré de maturité peut être mesuré qualitativement ou quantitativement de manière discrète ou continue. D'autres chercheurs proposent des modèles de référence d'une industrie du futur qui décrit les propriétés techniques et fonctionnelles de ce phénomène et essayent de comprendre comment un phénomène de transformation tel que l'industrie du futur et ses fonctions sous-jacentes peuvent interagir avec divers objectifs que sont la résilience économique, la durabilité environnementale et la centricité sur l'humain.



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE ET MAINTENANCE 4.0

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Anwar MEDDAOUI

ENSAM de Casablanca

La Totale productive maintenance et notamment la maintenance des systèmes industriels constitue un levier important pour la performance économique d'une organisation. A l'ère de la digitalisation de l'entreprise, le management du processus de la maintenance passe du mode classique de gestion des activités en aval à un autre mode permettant l'émergence de l'intelligence artificielle et la prédiction. La maintenance prédictive est le sujet principal des chercheurs en maintenance lors de cette dernière décennie. Autrement, l'anticipation des défaillances et la prédiction des pannes avec des organes et algorithmes intelligents demeurent des éléments principaux à développer en permanence. Cette intervention dresse l'évolution de la maintenance intelligente et les différentes techniques utilisées, avec aussi des exemples concrets utilisés dans le secteur industriel.

INTRODUCTION :

| La TPM :

La Totale Productive Maintenance (TPM) est une méthode de gestion de la maintenance qui vise à améliorer la productivité et la qualité en impliquant l'ensemble des travailleurs dans la maintenance des équipements de l'entreprise. Elle est née au Japon dans les années 1970 et a été développée par la Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM).

La TPM est basée sur la notion de «zéro panne, zéro défaut, zéro accident». Elle vise à éliminer toutes les pertes de productivité et de qualité qui peuvent être causées par des pannes, des défauts ou des accidents. Pour y parvenir, elle propose une approche globale de la maintenance qui implique l'ensemble de l'entreprise.

La TPM s'appuie sur huit piliers :

- 1. Amélioration autonome :** les opérateurs sont formés pour effectuer des tâches de maintenance de base et pour détecter les anomalies.
- 2. Maintenance planifiée :** une maintenance préventive est mise en place pour éviter les pannes.
- 3. Maintenance en temps opportun :** une maintenance curative est effectuée dès que des anomalies sont détectées.
- 4. Maintenance de la qualité :** la maintenance est axée sur la qualité des produits, ce qui permet de réduire les défauts.
- 5. Maintenance de la sécurité :** la maintenance est axée sur la sécurité des travailleurs, ce qui permet de réduire les accidents.
- 6. Formation et développement :** les travailleurs sont formés pour améliorer leurs compétences et leur polyvalence.
- 7. Gestion de l'équipement :** les équipements sont gérés de manière à maximiser leur utilisation et leur performance.
- 8. Administration de la TPM :** la TPM est gérée de manière à garantir son efficacité et son amélioration continue.

L'industrie 4.0

La quatrième révolution industrielle est un système cyber-physique caractérisé par une sphère physique, numérique et biologique qui transforme et impacte tout le travail de la vie, y compris l'économie et les industries. Appelée aussi industrie 4.0, Elle est le résultat de l'initiative allemande visant à améliorer la compétitivité dans une industrie manufacturière, la vision du gouvernement fédéral allemand pour une stratégie high-tech pour 2020 a donné naissance au mot à la mode «Industry 4.0», voir figure 1.

La maintenance 4.0

Afin d'accompagner le monde industriel dans son développement continu, passé d'une production en série classique à un mode plus performant basé sur des stratégies de Lean Manufacturing et d'intelligence artificielle, la maintenance industrielle doit suivre la tendance et se transformer d'une approche purement curative et préventive à des tendances prédictives et anticipative.

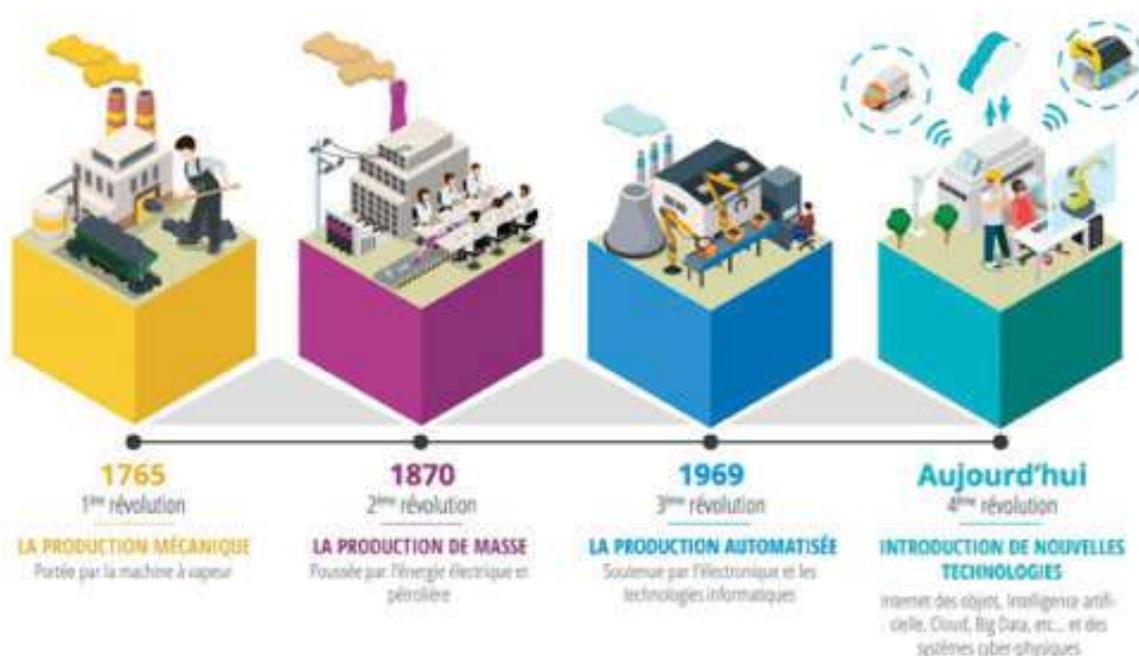


Figure 1. Evolution de la révolution industrielle

L'industrie 4.0 est une tendance actuelle dans le domaine manufacturier, basée sur le concept de «smart factory». Entre autres services organisationnels, l'Industrie 4.0 nécessite un service de maintenance rapide et efficace afin de garantir que les entreprises mettent en place un système de production efficace. L'utilisation

des techniques de type Réalité Augmentée (RA) comme support d'opérations de maintenance n'est pas une idée nouvelle, comme le souligne Azuma dans un article récent [1]. Depuis le début, il était clair pour les chercheurs que l'une des applications les plus intéressantes de la RA aurait pu être le support des applications industrielles, y compris la maintenance [2]. La RA peut aider à réduire le temps et les erreurs des tâches de maintenance [3]. À cette époque, la technologie permettant la RA était coûteuse et, par conséquent, le développement d'applications nécessitait des investissements importants [1]. Après des décennies et de grandes avancées dans les technologies permettant la RA, par ex. caméras, capteurs, algorithmes de suivi et technologies de visualisation, et grâce à l'évolution des technologies de l'information et de la communication en général, la RA est désormais entrée sur le marché grand public. Dans le même temps, la RA a été reconnue comme l'une des technologies de pointe de la 4ème révolution industrielle, la soi-disant Industrie 4.0.

La maintenance peut être de différents types : tant que les pannes des machines peuvent être prédites avec précision, la maintenance prédictive permet d'avoir une fréquence de maintenance aussi faible que possible pour éviter une maintenance réactive non planifiée, sans encourir de coûts associés à une trop grande maintenance préventive, idéalement.

Malheureusement, certaines pannes ne peuvent pas être facilement prévues et dans ces cas, la maintenance nécessite une analyse approfondie du problème, puis des opérateurs de maintenance experts pour effectuer la tâche de réparation. Ce type d'intervention peut être coûteux, tant pour le propriétaire de la machine que pour l'entreprise vendant le service de maintenance, et prend parfois du temps pour que l'expert se rende à l'endroit où la tâche de maintenance doit être effectuée. Les opérateurs locaux peuvent essayer de réparer la machine en communiquant avec des experts à distance en utilisant n'importe quel support multimédia, c'est-à-dire en envoyant des photos, des vidéos, en discutant, en parlant.

L'objectif de la fonction maintenance ce n'est pas que de remettre le système industriel en état d'accomplissement du service voulu, mais plus loin encore la réduction des temps d'arrêts des lignes de production et l'amélioration de la disponibilité de ces équipements. En effet, l'objectif de la quatrième génération de la maintenance ou la maintenance 4.0 est de réduire encore le temps d'arrêt et étudier toutes les données générées d'une manière anticipée et performante. Ces techniques basées sur

l'exploitation des masses de données générées posent beaucoup de questions :

- **Comment collecter d'une manière fiable la masse de données?**
- **Comment l'exploiter pour détecter les anomalies ?**
- **Comment anticiper les pannes avec des contraintes multiples ?**

AVANTAGES DE LA MAINTENANCE 4.0

L'avantage majeur de la maintenance 4.0 est de pouvoir agir pendant la période optimale de maintenance et ce, en faisant l'analyse :

- a. de l'évolution des paramètres de fonctionnement
- b. des causes racines et de risque
- c. du coût de l'intervention comparé au cout de la perte de production

L'autre avantage est de pouvoir réduire le temps d'arrêt en faisant :

- d. La simulation de l'intervention en réalité augmentée
- e. L'assistance de l'opérateur durant l'intervention
- f. La préparation du rapport d'intervention près de la machine (vidéo, photo, mesures, etc)

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET MAINTENANCE 4.0

| Big data et intelligence artificielle au service de la maintenance :

Jusqu'à récemment, il n'y avait aucune raison pour que l'analyse de masse de données massive ou Big Data soit au viseur de la plupart des industriels. Cependant, avec l'apprentissage automatique appliqué à la maintenance prédictive, le sujet est devenu important, le Big Data a pu avoir un rôle primordial. Les données issues des capteurs de la machine peuvent être analysées pour détecter l'évolution des défaillances de la machine à l'aide de l'intelligence artificielle avancée.

On ne peut pas s'attendre à ce que les professionnels de la maintenance et de la fiabilité deviennent des experts dans ce domaine. Le défi pour eux est de comprendre comment le Big Data peut être utilisé sans acquérir une expertise directe de la discipline. Nous ne pouvons pas parler au nom de tous les fournisseurs de solutions, mais chez SKF fabricant mondial des solutions de roulement, toutes les analyses des données des capteurs sont effectuées hors site à l'aide d'une solution basée sur le Cloud. Nous ne nous attendons pas à ce que les techniciens deviennent compétents en Machine Learning. Au lieu de cela, nous fournissons des alertes pour l'évolution des pannes, ainsi, les responsables peuvent prendre des décisions rapides et économiques.

| Réalité augmentée au service de la maintenance :

Depuis plusieurs années, la réalité augmentée (RA) a été reconnue comme étant un support intéressant dans l'industrie pour les applications de maintenance, d'assemblage et de réparation de machines. Par exemple, Feiner et al. [5] décrivent KARMA (figure 2), un prototype d'un système de réalité augmentée qui présente une application simple de maintenance d'imprimante laser pour l'utilisateur final basée sur un écran transparent monté sur la tête. L'un des principaux avantages de l'utilisation d'une application AR par rapport à la documentation traditionnelle est que l'opérateur peut accéder aux informations nécessaires pour effectuer les activités directement dans la zone de travail, sans avoir besoin de se référer au manuel traditionnel imprimé. Le type d'informations à afficher dans AR afin de permettre une tâche de maintenance efficace est toujours un problème ouvert, comme l'ont également démontré un travail récent de Radkowski et al. [6].

La RA, telle que décrite dans [7], permet également une modalité de formation efficace pour la maintenance et le montage qui accélère l'acquisition par les techniciens de nouvelles compétences sur les procédures de maintenance. Haritos et al. [8] décrivent une application AR mobile pour la formation dans le domaine de la maintenance des aéronefs, pour remplacer la modalité traditionnelle de formation, c'est-à-dire la formation en cours d'emploi. Le système de formation AR peut être utile à la fois pour la formation aux tâches professionnelles et pour l'orientation des tâches professionnelles pour les techniciens novices dans un environnement de travail réel.



Figure 2. Projet KARMA [5]

Regenbrecht et al. dans [9] présentent quelques exemples d'application, où la RA est utilisée dans l'industrie automobile et aérospatiale. Cet article présente des applications industrielles potentielles qui montrent les domaines d'application industriels possibles de la RA, notamment l'utilisation de cette technologie pour la maintenance et l'assemblage de produits.

MODÈLE DE LA MAINTENANCE 4.0

Dans cette section, nous proposons un modèle sur lequel le laboratoire AICSE de l'ENSAM Casablanca se penche pour aborder la recherche et développement dans l'axe de la performance économique de l'entreprise via la maintenance 4.0, voir figure 3 ci-après. Nous proposons par la suite un modèle simplifié pour les petites structures comme les PME.

Ce modèle est basé sur les concepts de la collecte de données, la consolidation et la visualisation, puis l'analyse informatique et métiers, par la suite la simulation et la planification et enfin l'exécution.

Certaines étapes sont importantes mais pas toujours nécessaires selon la fréquence et la complexité de la défaillance.

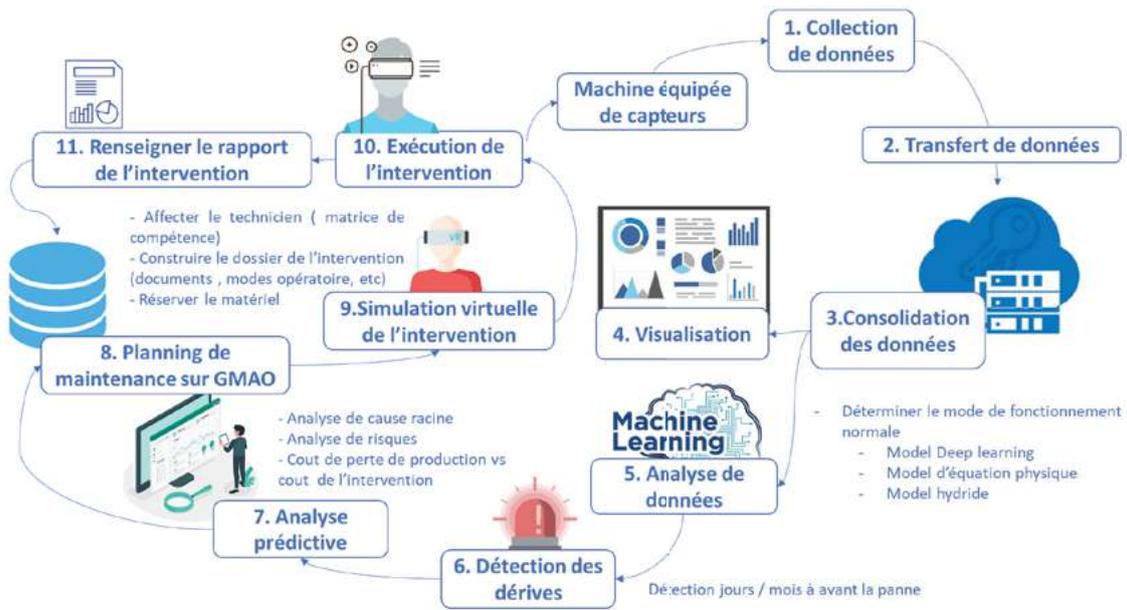


Figure 3. Modèle global de la maintenance 4.0

MODÈLE SIMPLIFIÉ DE LA MAINTENANCE 4.0

Le modèle simplifié comporte 8 étapes, voir figure 4. Ce modèle est basé sur la collection, le transfert, la consolidation et l'analyse, la GMAO et l'exécution.

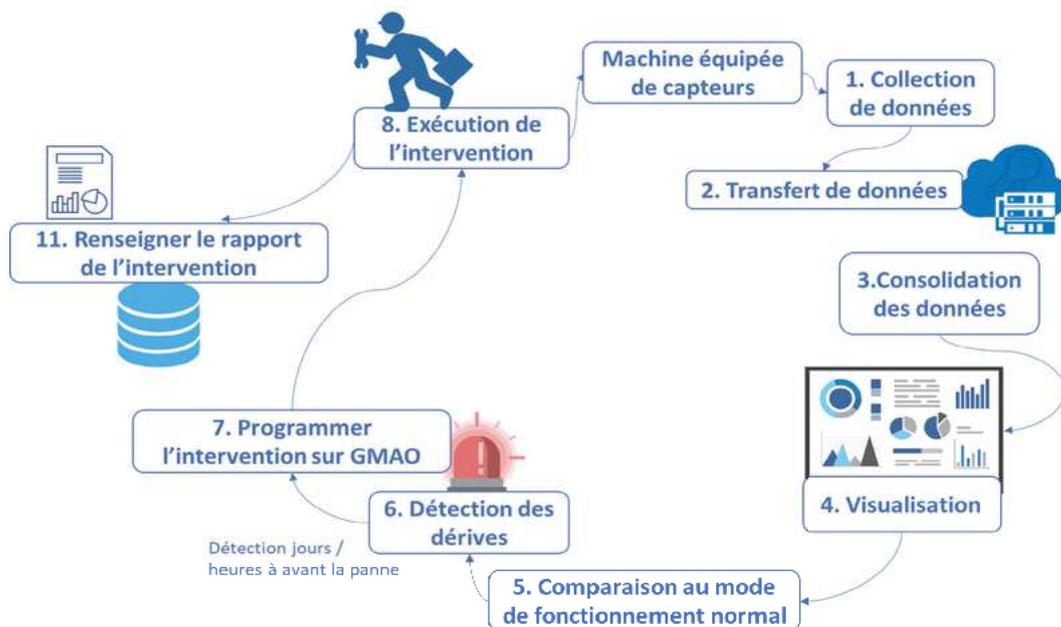


Figure 4. Modèle simplifié de la maintenance 4.0.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Le grand défi de la maintenance 4.0 à nos jours, c'est de pouvoir simplifier le modèle l'implémentation aux PME et de pouvoir proposer des technologies hardware abordables et des techniques software intelligente, facile à utiliser et économique aux utilisateurs non-initiés.

L'utilisation des techniques comme la réalité augmentée ou la réalité virtuelle dans la maintenance industrielle reste encore limitée aux grandes entreprises et aux laboratoires de recherches, la simplification des technologies liées à l'intelligence artificielle pourrait faciliter la tâche aux utilisateurs normaux en maintenance.

Parmi les raisons pour lesquelles la RA n'a pas encore été introduite dans la pratique industrielle, comme probablement la communauté des chercheurs s'y attendaient il y a quelques années, beaucoup sont liées au faible rapport performances/coût des technologies logicielles et matérielles disponibles sur le marché. La technologie ne semble toujours pas assez précise comme l'exigent les applications industrielles. Il souffre souvent des conditions d'éclairage. De plus, malgré plusieurs lunettes abordables ont été mis à disposition sur le marché, ils ne peuvent toujours pas être utilisées pendant une longue période. Les batteries, par exemple, ne permettent pas une longue durée d'utilisation, l'ergonomie a été améliorée par rapport aux écrans portables encombrants d'il y a quelques années, mais il reste encore de nombreux problèmes ouverts principalement liés à la perception visuelle des informations mixtes (réel plus virtuel). Quoi qu'il en soit, l'intérêt industriel pour une telle technologie est élevé, et ces dernières années, de nombreuses tentatives d'utilisation de la RA comme support de maintenance ont été faites par des groupes de recherche de longue date et émergents, des groupes de conseil, de nouvelles startups, etc. Les grandes entreprises investissent également dans cette direction. La Réalité Augmentée comme support de maintenance, n'est qu'un exemple de ce que l'on peut faire en introduisant la RA dans l'industrie.

CONCLUSION :

La mise en place de la maintenance 4.0 était chère et compliquée, Il fallait programmer tout une architecture pour collecter les données et le programme pour les analyser en partant de zéro et à la moindre mise à jour d'un des systèmes, il y avait un risque de devoir refaire un bout. Les changements demandaient des heures de programmation également.

De nos jours l'application de la maintenance 4.0 est désormais plus facile, la disponibilité des plateformes existent pour collecter, nettoyer, stocker, contextualiser et mettre à disposition les données. Les applications de maintenance prédictive sont paramétrables, il ne reste que le modèle à construire ou selon la méthode, l'apprentissage à faire. Des entreprises spécialisées que vendent des solutions complètes clés en main



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN INDUSTRIE

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Anisse KHALD

**Ecole Marocaine d'Ingénierie
(EMG)**

L'industrie 4.0 est un terme qui représente la quatrième révolution industrielle, caractérisée par l'intégration de technologies de haut calibre telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), le Machine Learning (ML), le Deep Learning (DL), la robotique, et la robotique collaborative (Cobot), l'impression 3D, la réalité virtuelle et augmentée (VR/AR), l'analyse de données en temps réel et les systèmes cyber-physiques dans les processus de production et les opérations industrielles. (Voir annexe)

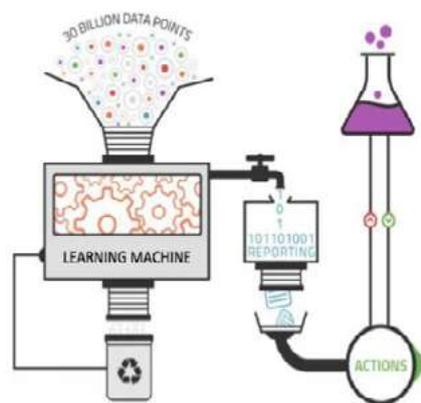
Cette évolution technologique permet l'automatisation, l'optimisation, et la reconnaissance des processus de production, l'augmentation de la productivité, gérer l'employabilité, Détection des fraude et anomalie dans la chaine de production, la réduction des coûts, lapersonnalisation de la production (besoin du client) et la création de nouveaux modèles d'affaires. L'industrie 4.0 vise à créer une production plus flexible, plus efficace et plus intelligente, capable de répondre rapidement aux besoins du marché et de s'adapter aux changements en temps réel.

TECHNOLOGIE 1 : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Définition

L'intelligence artificielle est un domaine très abordable par un ensemble de développeurs, ingénieurs, professionnels, étudiants et autres dans le but de réaliser des systèmes intelligents pour répondre à un besoin opérationnel. La machine en utilisant l'IA doit imiter le fonctionnement, l'analyse et le comportement de l'être humain de manière efficace.

L'IA est la discipline qui permet le traitement d'une quantité de données dans un système de raffinement et d'aide à une prise de décision pour résoudre une problématique par le biais des actions (figure ci-dessous¹)



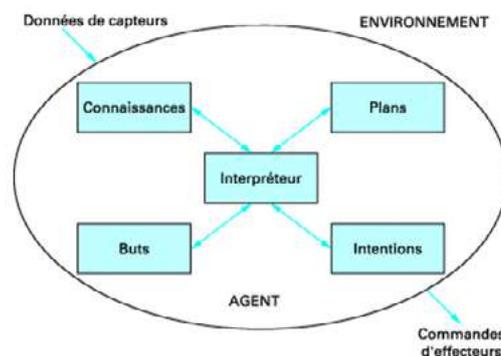
Selon Alan Turing, le premier scientifique qui a dit que les machines peuvent avoir les mêmes compétences que l'être humain, « L'IA est la science et l'ingénierie de fabrication de machines intelligentes, en particulier les programmes informatiques intelligents ». Il a lancé un grand défi entre les chercheurs pour développer des algorithmes d'intelligence artificielle.

Selon Cédric Villani « L'intelligence artificielle désigne un programme, fondé autour d'un objectif ambitieux :

¹ Source : lebigdata.fr

- comprendre comment fonctionne la cognition humaine et la reproduire ;
- créer des processus cognitifs comparables à ceux de l'être humain. »

Dans ce domaine, les machines intelligentes sont considérées comme des agents. Nous appelons un agent intelligent toute machine équipée d'une IA et qui permet de réaliser des traitements, optimiser des procédures et tâches et aussi prédire et classer des cas en fonction du résultat souhaité. Cet agent reçoit des données à partir de l'environnement pour construire une base de connaissances, réaliser un plan d'actions, et effectuer des actions pour un objectif (figure ci-dessous).



Un exemple d'un agent intelligent, un robot qui se déplace en chargeant des produits. Ce robot programmé de telle façon à identifier les produits et savoir l'emplacement et le chemin qu'il faut suivre. C'est le cas de plusieurs entreprises comme DHL, Amazon, Alibaba. Une voiture autonome qui conduit toute seule, sans conducteur, elle permet d'arriver à destination tout en prenant en compte les critères de sécurité des passagers. Un robot aspirateur est également un agent intelligent, capable d'analyser son environnement et d'effectuer des tâches de nettoyage. Un drone observateur qui permet de réaliser des inventaires, reconnaître des objets, superviser des travaux, réaliser des modèles 3D des constructions.

Un agent peut avoir une communication avec d'autres agents dans un système intelligent nommé SMA (Système multi agents). Ce système intervient dans une architecture distribuée en utilisant l'IA. Ce genre d'applications est appelé l'intelligence artificielle distribuée (IAD).

Une solution d'intelligence distribuée peut être² :

- **Collaborative** – capable de partager des informations directement entre les appareils.
- **Adaptable** – capable de reconnaître des stimuli prédéterminés et de catégoriser de nouveaux événements.
- **Flexible** – capable de réagir rapidement à diverses conditions affectant n'importe quel agent du système.
- **Décentralisée** – capable d'agir de façon indépendante ou collective sans coordination ni contrôle centralisés.
- **Réactive** – capable de réagir immédiatement à des stimuli locaux sans aucune latence.
- **Auto-organisée** – capable d'assumer divers rôles selon les besoins, en réponse à des conditions changeantes.
- **Autocorrectrice** – capable de s'adapter et de se réorganiser, de compenser les défauts et d'accomplir des tâches même lorsque des agents individuels échouent.
- **Sécurisée** – capable de partager des informations vitales sans compromettre les exigences de confidentialité ou de protection de la vie privée.

Par exemple, des véhicules autonomes capables de recueillir et d'analyser des données sur la circulation pourraient partager ces données avec d'autres véhicules du même système de gestion du trafic, ce qui permettrait à ces derniers de réagir à l'évolution des conditions de circulation en permanence en ajustant leur vitesse et leurs itinéraires pour éviter les dangers ou les embouteillages.

La technologie Blockchain³ permet à des sites edge⁴ de partager des informations de

² Source : <https://www.hpe.com/fr/fr/what-is/swarm-intelligence.html>

³ Un registre distribué de données bien structuré relié par des algorithmes de cryptage pour garantir la confidentialité de données et détecter facilement des intrus dans la chaîne de données.

⁴ Edge est un domaine qui permet le traitement de données à proximité des capteurs.

manière fiable, de façon à fournir des données utiles au réseau sans compromettre la confidentialité et la sécurité de ses terminaux. Cela peut se révéler particulièrement important pour les systèmes médicaux, financiers et industriels.

L'Intelligence Artificielle générale ou AGI est un système qui déclare que la machine peut faire un comportement intellectuel comme similaire aux humains. En générale, l'intelligence artificielle peut être la combinaison d'apprentissage, de perception, de résolution de problèmes et d'adaptation de nouvelles solutions au système. Cela implique également une logique linguistique et un raisonnement. Cette discipline a pour but d'externaliser les tâches de l'homme vers une machine.

Le domaine de l'IA est très vaste. Ce qui entraîne l'apparitions de plusieurs types de IA en fonction des domaines d'application et le besoin, ce qui a rendu les gens panoramiques face à la proximité de l'IA et sa présence dans notre vie quotidienne. Comprendre cette évolution technologique entraîne une maximisation des connaissances et le potentiel de l'utilisation de l'IA sachant que la majorité des établissements, entreprise, centres de recherche, et autres organismes tentent d'appliquer l'IA dans leurs procédures et tâches. La volonté d'appliquer l'IA nous pousse à comprendre quelle IA appliquée, ce qui définit les types de l'IA existants. Connaître les types d'IA revient à trouver le niveau auquel un système peut imiter le comportement de l'être humain et considérer ce niveau comme critère pour déterminer les types de l'IA. Par exemple dans le domaine de la robotique, si nous souhaitons intégrer l'IA, le robot doit être équipé d'un niveau d'intelligence similaire à celui de l'être humain (comportement, mouvements, analyse, capacité de débattre, Discuter, ...). Il existe deux principales catégories de l'IA :

Histoire de l'IA

Types de IA

L'IA faible

Le principe de l'IA faible est que les machines se comportent comme s'ils sont intelligents. Une IA faible prouve que les capacités virtuelles comme penser, parler, bouger peut-être fait par la machine s'ils sont programmés de cette manière. Par exemple. Aux échecs jeu, l'ordinateur peut jouer et déplacer les joueurs automatiquement. L'ordinateur n'a pas de pensée capacité, mais en réalité, il est programmé pour que l'ordinateur.

L'IA faible consiste aussi à considérer que l'être humain est toujours supérieur, et c'est lui qui prend le contrôle de la machine. Par exemple dans une application d'un système de recommandation, c'est à l'être humain de prendre la décision quelle solution choisir en fonction de son raisonnement. Dans ce cas le rôle de la machine est d'analyser et faire des calculs pour donner les meilleures solutions. Un autre exemple, dans le domaine d'armement ou jamais l'homme doit laisser les machines prendre la décision, car la machine peut faire des erreurs fatales surtout dans les domaines sensibles. On parle de la cinquième révolution 5.0 (industrie 5.0) où on donne à l'être humain un rôle de décideur et de superviseur en collaboration avec les machines intelligentes.

L'IA forte

Dans l'optique de ressentir de réels sentiments, l'IA dite « forte » consiste à faire comprendre à une machine ce qui l'a mené à effectuer des actions. De cette manière, le système reproduit de façon identique le fonctionnement du système cognitif humain. Ainsi, bien que privée de conscience, qui reste quant à elle propre aux organismes vivants, la machine acquiert de l'expérience lui permettant ainsi de modifier son propre fonctionnement. Autrement dit, un apprentissage découle de la réception issue de données de base et entraîne des réactions initialement non-programmées. Autrement dit on donne à la machine la capacité d'auto-apprendre et plus d'implication dans les applications qui peut dépasser le rôle de l'être humain pour quelques fonctions. Un exemple très discuté c'est gérer les relations humaines, améliorer le raisonnement et la conscience. Pour ce type d'IA la majorité des chercheurs suppose que nous sommes trop loin de ce cas, même impossible de laisser la machine prendre la relève et contrôler notre vie.

L'intelligence artificielle est un domaine qui contient plusieurs exemples d'applications dans différentes disciplines :

- L'industrie
- La construction
- La santé
- La formation
- L'agriculture

- La mobilité
- L'environnement

Le machine Learning

Dans la littérature, l'IA est un vaste domaine qui contient des sous domaines en fonction du niveau d'imitation et les types des méthodes utilisées et aussi les domaines d'applications. Les sous domaines les plus abordés sont : le machine Learning, nommé aussi l'apprentissage automatique, et le Deep Learning (apprentissage profond) que nous allons expliquer plus tard (figure ci-dessous)

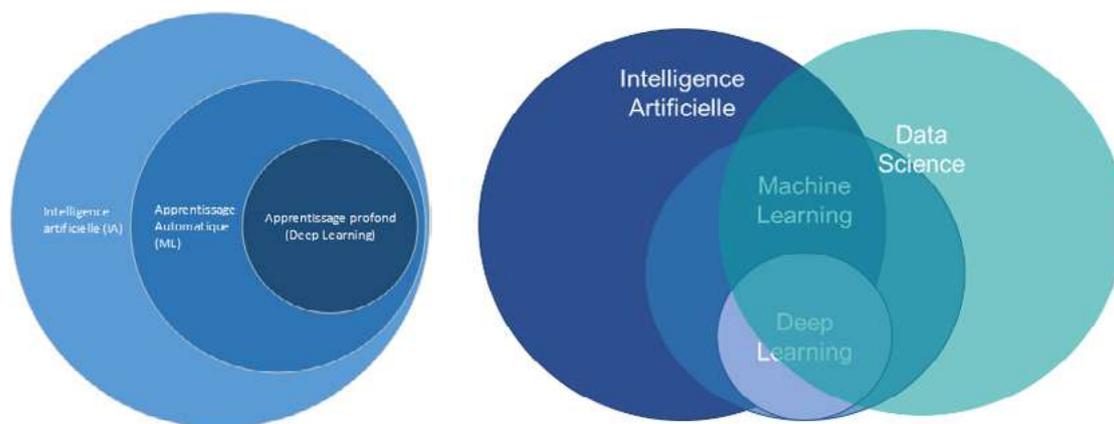


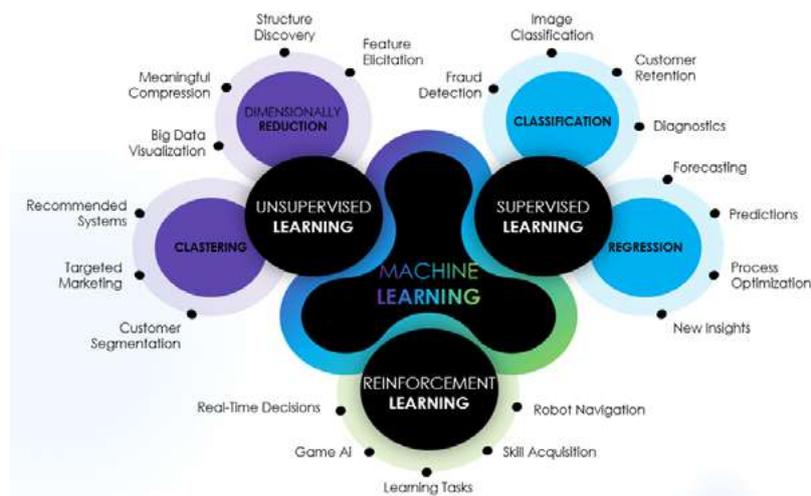
Figure : IA, ML et DL et la science de données

Si l'IA permet d'imiter les comportement et fonctionnement du cerveau humain, le machine Learning va plus loin. Il permet d'utiliser des algorithmes pour permettre à la machine d'apprendre elle-même en utilisant l'analyse d'un volume de données important. Le machine Learning (apprentissage automatique) est au cœur de la science des données et de l'intelligence artificielle. Nous parlons de la transformation numérique des entreprises ou digitalisation, et l'utilisation de Big Data dans différents domaines d'application. Le machine Learning est devenu incontournable. Ses applications sont nombreuses et variées, allant des moteurs de recherche et de la reconnaissance de caractères à la recherche en génomique, l'analyse des réseaux sociaux, la publicité ciblée, la vision par ordinateur, la traduction automatique ou encore le trading algorithmique.

Le machine Learning est composé de trois principaux axes :

- **L'apprentissage Supervisé** : Techniques d'apprentissage automatique où l'on cherche à produire automatiquement des règles à partir d'une base de données d'apprentissage contenant des exemples d'objectifs labélisés.
- **L'apprentissage Non Supervisé** : Techniques d'apprentissage automatique où l'on cherche à produire automatiquement des règles à partir d'une base de données sans objectifs labélisés.
- **L'apprentissage par Renforcement** : classe de problèmes dont le but est d'apprendre à partir d'expérience ce qu'il convient de faire de façon à optimiser une récompense quantitative au cours du temps.

La figure ci-dessous représente une taxonomie de méthodes utilisée dans le ML.



Parmi les méthodes les plus utilisées pour l'apprentissage supervisé nous citons :

- Naive Bayes
- Régression logistique
- K-NN
- Arbres de décision
- OneR
- CN2

- ID-3 (Iterative Dichotomiser)
- PRISM
- CART
- C4.5
- CHAID
- Forêts d'arbres de décision
- Random Forest (Les forêts aléatoires)
- Support Vector Machine
- Régression
 - R. Polynomiale
 - R. régularisée (ridge, LASSO, Elastic Net)

Pour l'apprentissage non- supervisée nous citons :

- Clustering
- Hard clustering
- Soft ou fuzzy clustering
- Classification
 - K-Means et ces alternatives (K-medoids, K-médianes, K-modes, Cartes auto-organisées, nuages dynamiques)
 - Groupement hiérarchiques (Les méthodes descendantes et ascendantes ou agglomératives)
 - Règles d'association
 - Les algorithmes d'a priori (Transactions, Item, Itemset, support, Minimum Support, Itemset fréquent)

Dans le domaine de la science de données, nous trouvons des méthodes qui permettent d'optimiser la structure de données en utilisant :

- Méthodes de Sélection des variables
- Méthodes pas à pas (S. Progressive, S. régressive)
- Méthodes d'extraction de variables

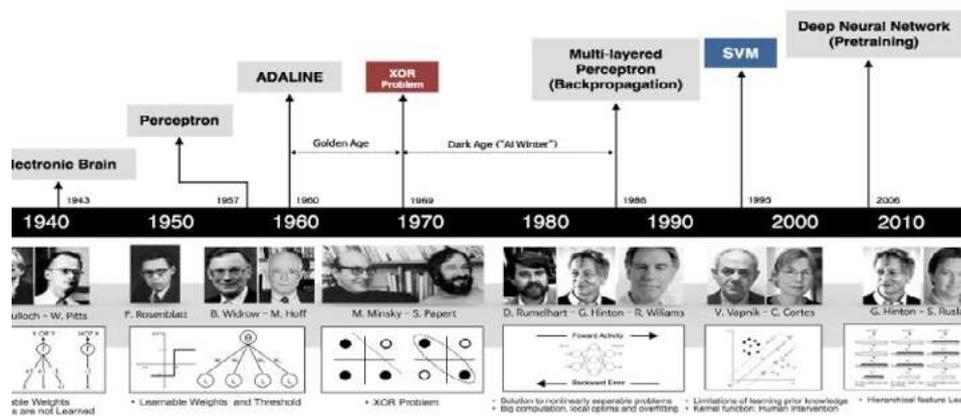
- Analyse en composantes principales
- Analyse discriminante linéaire
- Décomposition en valeurs singulières

Dans la liste suivante, nous présentons les exemples d'applications pour le Machine Learning :

- Navigation des robots
- Système de recommandations & la prise de décision
- Segmentation des Clients
- Classification des images
- Détection des fraudes et anomalies dans un système autonome
- Maintenance prédictive
- Prévion du marché
- Estimation d'Esperance de vie d'un système.
- Structuration des données acquises.
- Consommation d'énergie
- Reconnaissance de formes et d'objets
- Détection des défauts de fabrication
- Détecter les intrus dans un système
- Localisation des pièces et cartographie d'une usine
- La mobilité dans le domaine logistique (suivi, localisation, chemin optimum)
- La santé
 - Diagnostic
 - Détection des tumeurs
 - Maintenance prédictive des équipements
 - Chirurgie assistée par ordinateur
 - Recommandation de traitement
 - Anticipation d'une épidémie

Le Deep Learning

Le machine Learning contient un domaine très omni présent dans plusieurs applications. C'est le DeepLearning ou apprentissage profond. L'apprentissage profond est un sous-ensemble de ML qui utilise des réseaux de neurones artificiels profonds (DNN). Le mot «profond» signifie qu'il existe plusieurs couches cachées de collections de neurones qui ont des pondérations. Lorsque les données traitées occupent plusieurs dimensions (images par exemple), les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont souvent employés. CNN sont une architecture d'inspiration biologique.

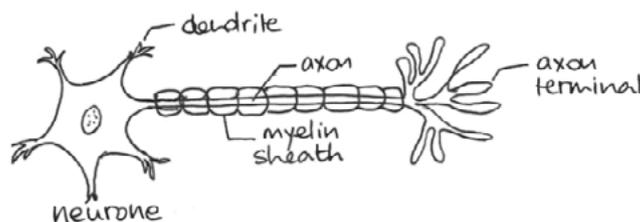


Dans la figure ci-dessus, nous présentons un axe chronologique de l'histoire

L'histoire des réseaux de neurones artificiels remonte aux années 1950 et aux efforts de psychologues comme **Franck Rosenblatt** pour comprendre le cerveau humain.

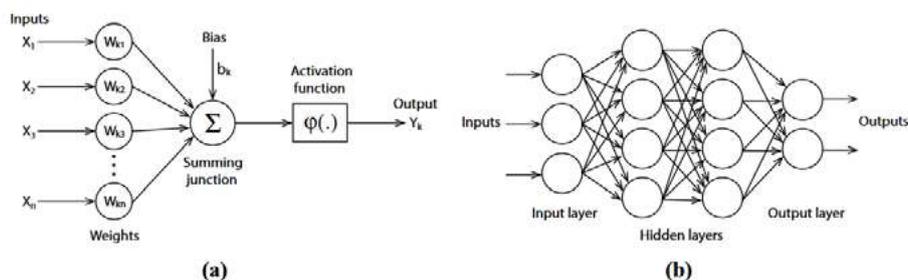
Initialement, ils ont été conçus dans le but de modéliser mathématiquement le traitement de l'information par les réseaux de neurones biologiques qui se trouvent dans le cortex des mammifères.

De nos jours, leur réalisme biologique importe peu et c'est leur efficacité à modéliser des relations complexes et non linéaires qui fait leur succès.



Dans le cas général, les réseaux de neurones se basent sur un modèle qui se calcule par la mise à jour de la liaison pondérée entre les neurones du réseau. Cette liaison permet de transmettre l'information d'une entrée vers une sortie. Cette dernière est caractérisée par une probabilité d'appartenance. Cette valeur de probabilité est comparée avec une sortie donnée en minimisant une erreur entre les deux. Minimiser l'erreur revient à ajuster les paramètres du réseau. La figure ci-dessous représente le calcul de la sortie en fonction de l'entrée et les poids des liaisons.

Le réseau de neurones est caractérisé par des couches intermédiaires (cachées)



Le formule pour calculer la sortie est donnée par : $f(x) = a \left(\sum_{j=1}^p w_j x_j + w_0 \right)$

L'apprentissage est donc un processus itératif. Après chaque observation, nous allons ajuster les poids de connexion de sorte à réduire l'erreur de prédiction faite par le perceptron dans son état actuel.

Pour cela, nous allons utiliser l'algorithme du gradient : le gradient nous donnant la direction de plus grande variation d'une fonction (dans notre cas, la fonction d'erreur), pour trouver le minimum de cette fonction il faut se déplacer dans la direction opposée au gradient.

Dans le cas binaire l'erreur de la fonction est donnée par :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{W}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \hat{y}_i} \frac{\partial \hat{y}_i}{\partial \mathbf{s}_i} \frac{\partial \mathbf{s}_i}{\partial \mathbf{W}}$$

nous allons chercher le cas par : $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{s}_i} = \delta_i^y = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \hat{y}_i} \frac{\partial \hat{y}_i}{\partial \mathbf{s}_i} = \hat{y}_i - y_i^*$

Erreur($f(x^i)$) $-\log(1 - f(x^i))$.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{W}} = \frac{1}{N} \mathbf{X}^T (\hat{\mathbf{Y}} - \mathbf{Y}^*) = \frac{1}{N} \mathbf{X}^T \Delta^y$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{b}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i^*)$$

Avec :

X: Le vecteur entrée, **y** : la sortie du model, **ŷ** : la sortie souhaitée

Y : les poids du modèle, **b** : les biais du modèle.

L: erreur (Loss)

Après le calcul des dérivées, on doit mettre à jour notre modèle en utilisant les équations :

$$\mathbf{W}^{(t+1)} = \mathbf{W}^{(t)} - \eta \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{W}}$$
$$\mathbf{b}^{(t+1)} = \mathbf{b}^{(t)} - \eta \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{b}}$$

Avec la rapidité d'apprentissage.

Pour évaluer les performances d'un modèle, on utilise généralement des métriques telles que l'accuracy, la précision, le rappel et le F1-score pour les tâches de classification, ou la moyenne des erreurs pour les tâches de régression. La sélection du meilleur modèle dépend de l'application spécifique et des objectifs de performance.

La validation croisée est souvent utilisée pour comparer différents modèles et sélectionner celui qui se comporte le mieux sur des données indépendantes.

Parmi les outils utilisés pour mettre en pratique les algorithmes du Deep Learning :

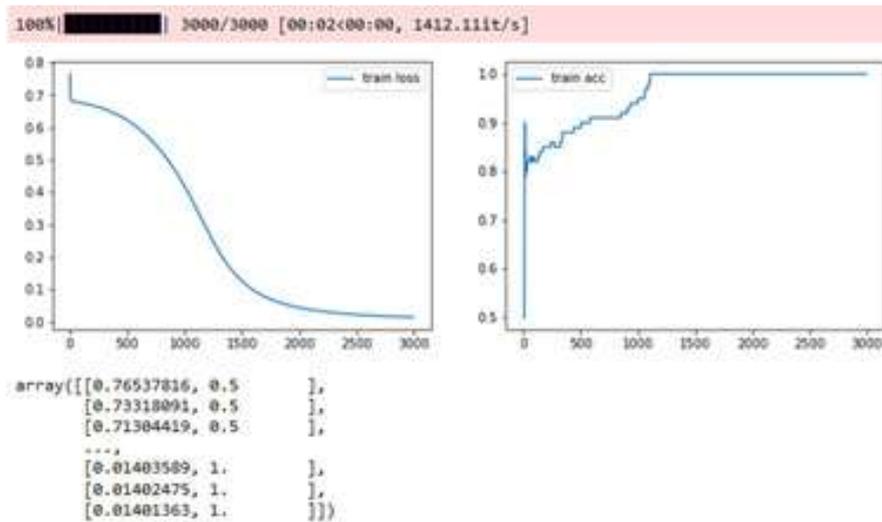
Les langages de programmation : Python, C++, R, Julia. Pour le cas du langage python, nous trouvons plusieurs bibliothèques utilisées pour construire les bases d'apprentissage et de test et les modèles de prédiction et de classification.



Exemple 1 : Construire un modèle de réseaux de neurones basique avec une seule

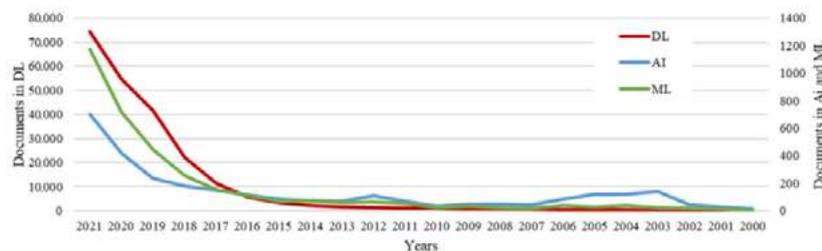
<p>Importation des bibliothèques</p>	<pre>import numpy as np import matplotlib.pyplot as plt from sklearn.datasets import make_blobs, make_circles from sklearn.metrics import accuracy_score, log_loss from tqdm import tqdm</pre>
<p>Initialisations des paramètres du modèle (les poids et les biais)</p>	<pre>def initialisation(dimensions): parametres = {} C = len(dimensions) np.random.seed(1) for c in range(1, C): parametres['W' + str(c)] = np.random.randn(dimensions[c], dimensions[c - 1]) parametres['b' + str(c)] = np.random.randn(dimensions[c], 1) return parametres</pre>
<p>Calcul de la sortie du modèle Z et la sortie après activation A</p>	<pre>def forward_propagation(X, parametres): activations = {'A0': X} C = len(parametres) // 2 for c in range(1, C + 1): Z = parametres['W' + str(c)].dot(activations['A' + str(c - 1)]) + parametres['b' + str(c)] activations['A' + str(c)] = 1 / (1 + np.exp(-Z)) return activations</pre>
<p>La méthode de descente de gradient appliquée pour minimiser l'erreur entre la sortie calculée et les étiquette de la données</p>	<pre>def back_propagation(y, parametres, activations): n = y.shape[1] C = len(parametres) // 2 dZ = activations['A' + str(C)] - y gradients = {} for c in reversed(range(1, C + 1)): gradients['dW' + str(c)] = 1/n * np.dot(dZ, activations['A' + str(c - 1)].T) gradients['db' + str(c)] = 1/n * np.sum(dZ, axis=1, keepdims=True) if c > 1: dZ = np.dot(parametres['W' + str(c)].T, dZ) * activations['A' + str(c - 1)] * (1 - activations['A' + str(c - 1)]) return gradients</pre>
<p>La mise à jour des paramètres du modèle après chaque minimisation</p>	<pre>def update(gradients, parametres, learning_rate): C = len(parametres) // 2 for c in range(1, C + 1): parametres['W' + str(c)] = parametres['W' + str(c)] - learning_rate * gradients['dW' + str(c)] parametres['b' + str(c)] = parametres['b' + str(c)] - learning_rate * gradients['db' + str(c)] return parametres</pre>
<p>Prédire une donnée de test</p>	<pre>def predict(X, parametres): activations = forward_propagation(X, parametres) C = len(parametres) // 2 Af = activations['A' + str(C)] return Af >= 0.5</pre>
<p>Définir un réseau avec 3 couches cachées avec 16 neurones pour chacun. Le modèle va être à jour après chaque itération d'apprentissage : Calcul de sortie Calcul d'erreur Minimisation d'erreur Mise à jour des paramètres</p>	<pre>def deep_neural_network(X, y, hidden_layers = (16, 16, 16), learning_rate = 0.001, n_iter = 3000): # Initialisation parametres dimensions = list(hidden_layers) dimensions.insert(0, X.shape[0]) dimensions.append(y.shape[0]) np.random.seed(1) parametres = initialisation(dimensions) # tableau numpy contenant les futures accuracy et log_loss training_history = np.zeros((int(n_iter), 2)) C = len(parametres) // 2 # gradient descent for i in tqdm(range(n_iter)): activations = forward_propagation(X, parametres) gradients = back_propagation(y, parametres, activations) parametres = update(gradients, parametres, learning_rate) Af = activations['A' + str(C)] # calcul du log_loss et de l'accuracy training_history[i, 0] = (log_loss(y.flatten(), Af.flatten())) y_pred = predict(X, parametres) training_history[i, 1] = (accuracy_score(y.flatten(), y_pred.flatten())) # Plot courbe d'apprentissage plt.figure(figsize=(12, 4)) plt.subplot(1, 2, 1) plt.plot(training_history[:, 0], label='train loss') plt.legend() plt.subplot(1, 2, 2) plt.plot(training_history[:, 1], label='train acc') plt.legend() plt.show() return training_history</pre>
<p>Générer la donnée</p>	<pre>X, y = make_circles(n_samples=100, noise=0.1, factor=0.3, random_state=0) X = X.T y = y.reshape((1, y.shape[0])) print('dimensions de X:', X.shape) print('dimensions de y:', y.shape) plt.scatter(X[0, :], X[1, :], c=y, cmap='summer') plt.show()</pre>
<p>Lancement de programme</p>	<pre>deep_neural_network(X, y, hidden_layers = (16, 16, 16), learning_rate = 0.1, n_iter = 3000)</pre>

Dans les résultats, nous obtenons une minimisation de l'**erreur**, et l'évaluation du modèle par la méthode **accuracy**.

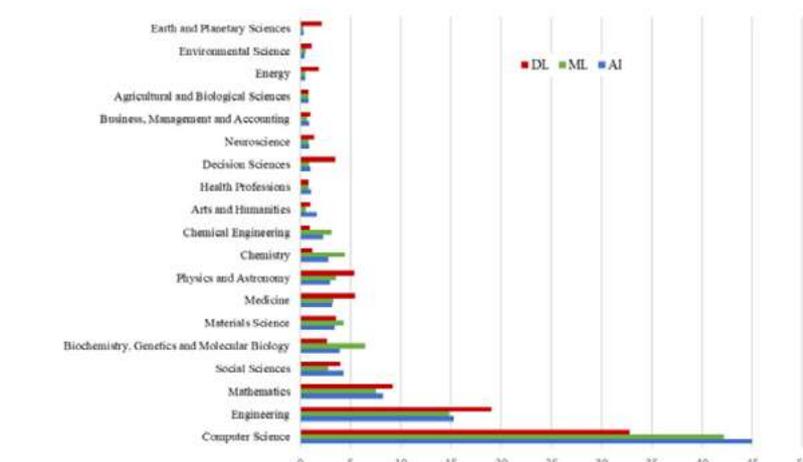


Mise en perspective

La figure ci-dessous représente le nombre de papiers publiés dans les domaines de l'IA, ML et DL.

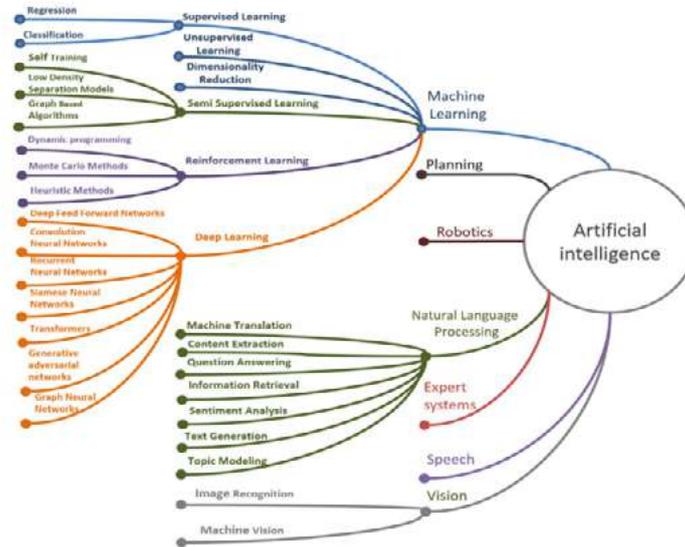


La figure ci-dessous représente l'utilisation des trois domaines dans différents applications.

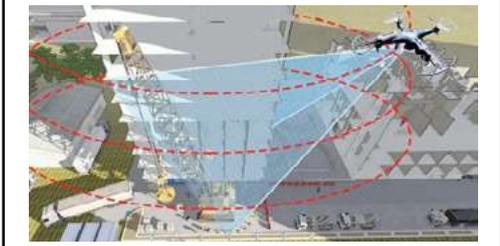


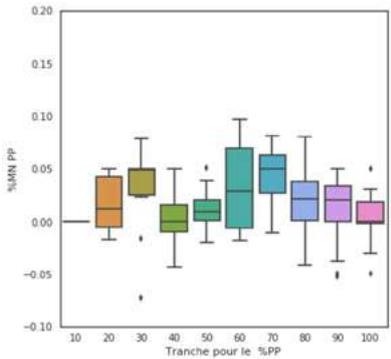
Résumé

Le schéma ci-dessous représente les applications de l'intelligence artificielle et les différents axes de recherche.



	<p>ChatGPT : une application dans le domaine du traitement du langage naturel qui permet de générer du texte en se basant sur un algorithme des réseaux de neurones génératifs.</p>
	<p>Voiture sans conducteur : les applications de mobilité basées sur la vision assistée qui permet d'avoir un système autonome de détection et utilisant des algorithmes de la vision par ordinateur et l'apprentissage automatique pour classifier les images reçues et réagir.</p>
	<p>Reconnaissance de visage : des applications qui se basent sur la détection des caractéristiques de visage et la classification (reconnaissance) de ces features à l'aide d'un algorithme d'apprentissage automatique pour aboutir à un résultat qui permet de donner accès de l'utilisateur.</p>

	<p>La robotique : des applications de robotique sont omni présentes dans plusieurs domaines : les bras de l'industrie. Les robots drone pour la surveillance, la recherche, l'inventaire, la modélisation 3D. Les robots qui discutent et donnent des informations diverses. Les chatbots utilisée dans les domaines de commerce, marketing. Les robots utilisant la nano technologie pour faire des opérations critiques.</p>
	<p>La vision : mojo est une application sous forme de lentille qui permet la reconnaissance des objets et personnes et qui a la capacité de transmettre les informations visuellement à la personne comme des informations personnel, des indicateurs de santé, des modèle 3D d'un objet,...</p>
	<p>Nano technologie : Grapheneest une matière qui permet la construction d'autres matières. Une matière extensible avec des mutation dans sa structure moléculaire.</p>
	<p>Construction et sécurité : application permet de détecter des anomalies dans un chantier liées à la sécurité des travailleurs par exemple qui manquait du matériel de protection. Une application se base sur la détection et la reconnaissance d'images. (Suffolk (USA))</p>
	<p>La collecte des données pour l'analyse ultérieure est faite en utilisant des drones : Le traitement du traitement des données permet d'enregistrer le progrès du projet et de vérifier l'efficacité du travail. Il permet aussi d'augmenter le processus de modélisation et de logistique du site pour la planification.</p>

	<p>Problème : 80 % des grands projets dépassant 20% du budget et livrés en retard Améliorer les estimations financières dans la phase de pré projet, en tenant compte des variables chantieret variables contractuellescomme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taille de Chantier • Superficie de projet • Localisation • Type de projet • Budget • Sous-traitants • Pourcentage des travaux en part propre
	<p>Problème : En 2030, nous aurons besoin de 40% d'eau potable en plus Détection de fuite d'eau : Eviter la perte d'eau par fuite grâce à des tuyaux intelligents avec une meilleure gestion et un meilleur retour d'information aux personnes et un changement de comportement. Cette procédure se base sur des capteurs de pression et de volume installer tous au long des tuyaux pour la détection rapide et efficace.</p>
	<p>Pompe Cold-Innov : production de froid à partir des pertes de chaleur. Principe : redistribuer l'énergie dégagée en optimisant les bâtiments, les utilisations combinées (chaud/froid).</p>

L'avenir de l'intelligence artificielle

L'avenir de l'IA est très prometteur. Les avancées technologiques récentes ont permis de faire des progrès spectaculaires dans ce domaine, et l'IA est de plus en plus utilisée dans de nombreux secteurs, tels que la santé, l'automobile, la finance, les services publics, l'énergie, l'eau, l'agriculture, etc.

Dans les années à venir, nous pouvons nous attendre à voir l'IA devenir de plus en plus sophistiquée et autonome. Les algorithmes de machine Learning et de DeepLearning continueront de s'améliorer, permettant aux machines de mieux comprendre le monde qui les entoure et d'apprendre de manière plus autonome.

Nous verrons également de plus en plus d'applications de l'IA dans des domaines tels que la robotique,

la réalité virtuelle et augmentée, la reconnaissance vocale et faciale, la traduction automatique, l'analyse de données, la cybersécurité, la médecine personnalisée, etc.

Cependant, l'IA soulève également des questions importantes en termes de réglementation, d'éthique et de sécurité. Il est donc crucial que nous soyons conscients de ces enjeux et que nous travaillions ensemble pour garantir que l'IA soit utilisée de manière responsable et éthique.

Dans l'ensemble, l'avenir de l'IA est très prometteur, mais il est important de veiller à ce que son développement soit encadré de manière responsable et éthique.

La nanotechnologie :

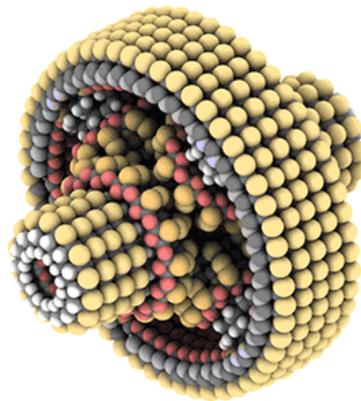
La nanotechnologie et l'IA sont deux domaines de pointe qui peuvent être combinés pour créer des solutions innovantes dans de nombreux secteurs.

Voici quelques exemples d'applications potentielles de la combinaison de la nanotechnologie et de l'IA :

- **La médecine :** La nanotechnologie peut être utilisée pour concevoir des nanoparticules capables de délivrer des médicaments directement aux cellules malades, sans endommager les cellules saines. En utilisant l'IA, on peut développer des algorithmes qui peuvent identifier les cellules malades et guider les nanoparticules vers ces cellules de manière plus précise.
- **L'agriculture :** La nanotechnologie peut être utilisée pour développer des capteurs à base de nanomatériaux qui peuvent détecter les maladies des plantes et les carences en nutriments. En utilisant l'IA, on peut développer des algorithmes capables d'analyser les données collectées par ces capteurs et de fournir des recommandations pour optimiser la croissance des plantes.
- **L'énergie :** La nanotechnologie peut être utilisée pour concevoir des matériaux plus efficaces pour les panneaux solaires et les batteries. En utilisant l'IA, on peut développer des algorithmes capables d'optimiser la conception de ces matériaux pour maximiser leur efficacité.
- **La sécurité :** La nanotechnologie peut être utilisée pour développer

des matériaux ultra-résistants pour la fabrication de véhicules et de bâtiments. En utilisant l'IA, on peut développer des algorithmes capables de prédire la manière dont ces matériaux résisteront aux différents types de stress.

En combinant la nanotechnologie et l'IA, on peut créer des solutions innovantes qui peuvent aider à résoudre certains des problèmes les plus complexes auxquels nous sommes confrontés dans différents secteurs. Cependant, il est important de prendre en compte les questions de sécurité, de réglementation et d'éthique lors de la conception et de l'utilisation de ces technologies.



Le domaine de la nanotechnologie permet d'intervenir dans différents domaines. citons par exemple la nano fabrication :

- **Vêtements résistants aux taches**
- **Pare-chocs automobiles plus légers et plus solides**
- **Outils coupe de métal plus résistant**
- **Consommation d'énergie**
- **Panneaux solaires**

La nano technologie moléculaire est un processus d'assemblage de structures complexes avec une précision atomique qui consiste à placer précisément chaque atome dans le produit.

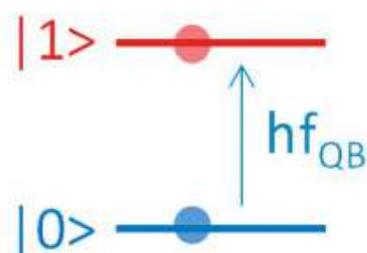
La physique quantique :

L'informatique quantique est une technologie venue apporter une puissance de calcul très importante, qu'elle peut résoudre en quelques minutes des problèmes, qui autrefois nécessitaient des années pour être résolus. Beaucoup la considère d'ailleurs comme une évolution naturelle de technologies d'analyse de données comme l'intelligence artificielle. Que peut apporter l'informatique quantique à l'IA ?

En informatique chaque information est représentée par une suite binaire 0 et 1. Par contre en informatique quantique chaque information transmise sera sous forme d'un état quantique présentée par une superposition de 1 et 0 avec une probabilité près. Au lieu de transmettre un seul bit on transmet deux. C'est un gain énorme par rapport à la quantité d'information et aussi au calcul. Chaque état contenant le 0 et le 1 est nommé **Qbit**

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$



Chaque N bit transmet correspond à 2^N bit en Quantique.

Imaginer que nous avons un problème faisant partie des systèmes de recommandations et nous avons besoin de tester plusieurs solutions. Avec un ordinateur classique je dois faire les tests un après l'autre dans un temps considérable. Alors dans l'informatique quantique nous pouvons faire ça en parallèle et gagner beaucoup du temps dans le test. Le domaine est appelé l'intelligence quantique et il est en cours de développement malgré les difficultés rencontrés pour avoir des systèmes stables vu que les états quantiques sont trop sensibles et nous devons isoler notre système⁵.

En industrie par exemple, les ordinateurs quantiques puisqu'ils permettent de réaliser des calculs hautement complexes ce qui facilite de trouver des solutions pour les problèmes d'optimisation. Dans le domaine du fret (améliorer le transport de

⁵ <https://www.usherbrooke.ca/sciences/actualites/nouvelles/details/43680>

marchandises et les livraisons), du trafic routier (réduire l'embouteillage), la production d'énergie dans les usines et dans les barrages (réduire la consommation). Cette technologie peut être efficace pour améliorer l'utilisation du Big Data. Elle peut aussi rendre les algorithmes d'apprentissage plus efficaces. N'oublions pas l'utilisation de l'IQ dans le domaine de la cryptographie avec la capacité de casser le chiffrement RSA dans un temps réduit.

Les ordinateurs quantiques ne sont pas encore sortis des labos, mais les entreprises de la tech et les chercheurs s'activent pour que cela ne prenne pas trop de temps. C'est le cas de Google, qui mène plusieurs projets de front, avec l'université de Santa Barbara et la NASA, d'Intel qui a dévoilé lors du dernier CES un processeur à 49 qubits conçu avec l'université hollandaise de Delft, ou encore d'IBM et Microsoft qui conçoivent eux aussi leurs propres ordinateurs fonctionnant avec des bits quantiques. A noter qu'en France, Atos planche sur le sujet avec le CNTS et le CEA⁶.

Ethique et confidentialité

L'éthique de l'IA est un domaine crucial à prendre en considération lors de la conception, le développement des applications de l'IA. Personne ne peut nier que l'IA a bouleversé notre quotidien dans la vie personnel et professionnelle. Elle a un grand potentiel de transformer plusieurs aspects de notre vie, mais elle présente également des soucis dans des questions liées à l'éthique. Voici quelques questions éthiques liées à l'IA.

- **La transparence et la responsabilité** : la technologie utilisée doit être claire et explicable à savoir les algorithmes utilisés et la source de la donnée utilisée.
- **La vie privée et la sécurité** : avec les applications de l'IA centrée sur le consommateur, des médias, l'IA n'utilise pas vraiment les données personnelles liées à la vie privée. D'autre part, l'impact de l'IA sur la vie privée doit être traité avec une attention particulière. Par exemple des IA qui ont la capacité d'identifier et repérer une personne qui n'était pas censée être identifiable. Ces données doivent être soumises

⁶ <https://www.cnetfrance.fr/news/>

à des exigences qui touchent aux aspects de qualité, capacité de dépersonnalisation. La majorité des entreprises veillant à appliquer l'éthique des données optent pour un audit et une analyse des risques.

- **Plus de collaboration humaine** : augmenter l'intelligence humaine par l'intégration des personnes dans toutes les étapes de conception et développement de l'IA et améliorer la capacité de prendre des décisions avec un niveau de maturité considérable. On parle de l'industrie 5.0.

Au Maroc, L'intelligence artificielle donne naissance à de nouveaux enjeux en matière d'éthique et de protection des données qui doivent être traités par le biais d'une politique et d'une conception minutieuse de solutions afin de parvenir à l'harmonie. L'intelligence artificielle et ses sous-ensembles, l'apprentissage automatique (ML) et l'apprentissage profond (DL), génèrent des idées et des produits innovants à un rythme soutenu. En effet, le marché des solutions basées sur l'IA devrait valoir 733,7 milliards d'ici 2027 avec un taux de croissance annuel composé de plus de 42%.

Ces solutions se nourrissent de données, les consomment et les analysent pour fournir l'intelligence nécessaire au fonctionnement des solutions basées sur l'intelligence artificielle. Or, ces données sont souvent personnelles, comportementales et peuvent être des données très sensibles telles que des informations de santé et biométriques, avec des implications potentielles sur la vie privée et l'éthique, exacerbant la protection des renseignements personnels dans un avenir activé par l'intelligence artificielle⁷.

Résumé

L'Intelligence Artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui implique la création de machines et de systèmes capables de simuler l'intelligence humaine. L'IA utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour apprendre à partir de données et de modèles afin de prendre des décisions, résoudre des problèmes et exécuter des tâches de manière autonome. Les technologies courantes de l'IA comprennent les réseaux de neurones, le traitement du langage naturel, la vision par ordinateur, la robotique, l'apprentissage par renforcement et les processus décisionnels Markoviens. L'IA est utilisée dans de nombreux domaines, notamment la médecine, la finance, l'industrie,

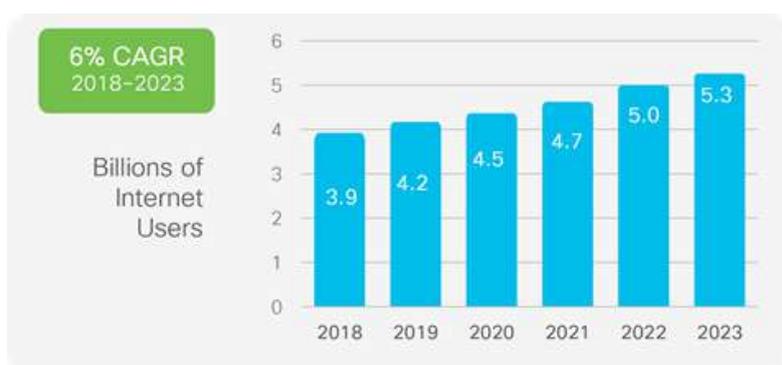
⁷ L'IA au Maroc, entre encadrement réglementaire et stratégie économique, Abdessalam Saad JALDI, Octobre 2022

les transports et la sécurité. Toutefois, l'IA soulève également des questions éthiques et de responsabilité, notamment en ce qui concerne la confidentialité des données, la discrimination et la sécurité.

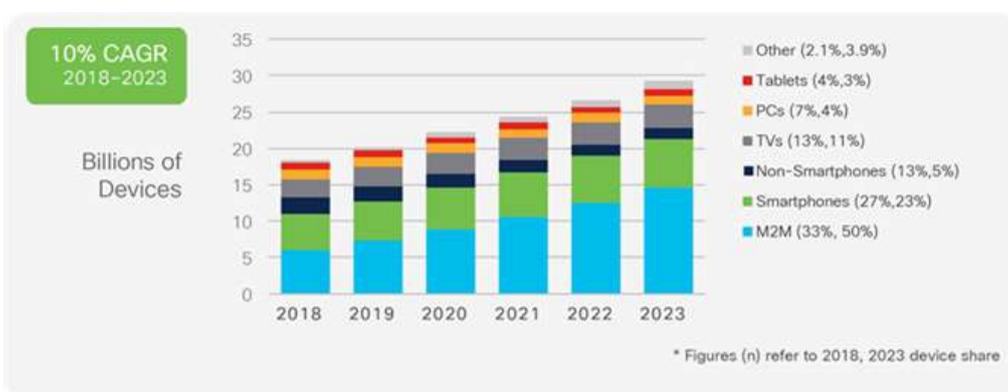
TECHNOLOGIE 2 : L'INTERNET DES OBJETS

Définition

L'Internet des objets (IoT) est un concept technologique qui décrit la connectivité entre les objets physiques et leur capacité à communiquer entre eux et avec d'autres systèmes grâce à l'utilisation d'Internet. Dans la figure ci-dessous, nous présentons le nombre d'utilisateur d'internet.



Dans la figure ci-dessous le nombre et le type des équipement considérés comme connectés.



Cette connectivité est possible grâce à l'intégration de capteurs, d'actuateurs et de

dispositifs de communication dans les objets du quotidien, tels que les voitures, les électroménagers, les équipements de santé, les vêtements et les bâtiments.

Le but de l'IoT est de permettre la collecte de données en temps réel à partir de ces objets, afin de les analyser et de les utiliser pour prendre des décisions plus éclairées et optimiser leur utilisation.

Par exemple, une entreprise peut utiliser l'IoT pour suivre en temps réel le mouvement de ses produits dans la chaîne d'approvisionnement, ou un hôpital peut utiliser l'IoT pour surveiller à distance la santé de ses patients.

L'IoT offre de nombreux avantages, notamment l'amélioration de l'efficacité et de la productivité, la réduction des coûts, l'amélioration de la qualité de vie, et la création de nouveaux modèles d'affaires. Cependant, l'IoT soulève également des questions sur la confidentialité et la sécurité des données, ainsi que sur les implications sociales et éthiques de la collecte de données en temps réel. Dans la figure suivante, nous présentons le classement des entreprises utilisant l'IoT dans le monde.



Histoire de l'IOT

L'histoire de l'Internet des objets (IoT) remonte aux années 1980, lorsque les premiers dispositifs connectés ont commencé à apparaître. Cependant, c'est seulement dans les années 2000 que l'IoT a vraiment commencé à se développer grâce à l'amélioration des technologies de capteurs et de communication sans fil.

En **1991**, Mark Weiser, un informaticien visionnaire de Xerox PARC, a proposé le concept d'un «ordinateur ubiquitaire⁸», qui serait intégré dans le monde physique pour fournir des services utiles et invisibles à l'utilisateur.

Cette idée a jeté les bases de l'IoT telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Au début des années **2000**, des entreprises telles que LG et Samsung ont commencé à intégrer des fonctionnalités de connectivité à leurs produits, tels que des téléviseurs et des réfrigérateurs intelligents. Cependant, les coûts élevés et la complexité de la mise en réseau ont limité la croissance de l'IoT.

En **2008**, l'augmentation de la disponibilité de la connectivité sans fil et la baisse des coûts des capteurs ont permis l'essor de l'IoT. La même année, le terme «Internet des objets» a été utilisé pour la première fois par Kevin Ashton, fondateur du centre Auto-ID au MIT, pour décrire le concept de la connectivité des objets physiques à Internet.

Depuis lors, l'IoT s'est développé rapidement, avec la création de protocoles de communication standardisés tels que ZigBee et MQTT, ainsi que de plates-formes IoT telles que AWS IoT et Microsoft Azure IoT.

L'IoT est désormais utilisé dans de nombreux domaines, notamment l'industrie, la santé, les transports et les villes intelligentes, pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la qualité de vie.

Les domaines d'application de l'IOT

L'Internet des objets (IoT) est un domaine de plus en plus populaire dans lequel des appareils, des capteurs et d'autres objets sont connectés à Internet pour échanger des données et des informations. Voici quelques exemples d'applications courantes de l'IoT dans différents domaines :

Domotique

Les maisons intelligentes sont l'un des domaines d'application les plus courants de l'IoT. Les capteurs et les appareils connectés peuvent surveiller la température, la lumière, la sécurité, l'énergie, la gestion de l'eau et bien plus encore. Par exemple, des

⁸ Un terme qui décrit une technologie omniprésente dans plusieurs applications.

thermostats intelligents peuvent ajuster la température en fonction de la présence de personnes dans la pièce, des lumières intelligentes peuvent s'allumer et s'éteindre automatiquement en fonction de la lumière du jour, et les caméras de surveillance peuvent envoyer des alertes sur les smartphones des propriétaires lorsqu'un mouvement est détecté. Dans la figure suivante, nous présentons un schéma simplifié d'une maison Samsung intelligente⁹.



Santé

L'IoT peut être utilisé dans le domaine de la santé pour surveiller la santé des patients, détecter les maladies et améliorer la qualité des soins. Par exemple, des capteurs portables peuvent être utilisés pour surveiller les signes vitaux des patients, tels que le rythme cardiaque, la pression artérielle et le taux d'oxygène dans le sang. Les applications de suivi de la santé peuvent également être utilisées pour suivre les habitudes alimentaires et de sommeil, et les informations peuvent être partagées avec

⁹ Source : <https://internetdesobjetsdomotiquedotcom.wordpress.com/iot-applique-a-la-domotique/>

les médecins.

Voici d'autres exemples d'utilisation des IOT dans le domaine de la santé :

- **La surveillance de la santé** : Les dispositifs de surveillance de la santé, tels que les bracelets et les montres intelligentes, peuvent être utilisés pour suivre les signes vitaux des patients, tels que le rythme cardiaque, la pression artérielle, la température corporelle et le niveau d'activité physique. Les données collectées peuvent être utilisées pour détecter les anomalies de santé et pour surveiller l'état de santé d'un patient à distance.
- **Le diagnostic** : Les dispositifs de diagnostic, tels que les scanners portables et les appareils de diagnostic à domicile, peuvent être utilisés pour aider les patients à surveiller et à diagnostiquer certaines conditions de santé. Par exemple, les diabétiques peuvent utiliser des glucomètres connectés pour surveiller leur glycémie et ajuster leur traitement en conséquence.
- **Gestion des soins de santé** : Les systèmes de gestion des soins de santé, tels que les dossiers médicaux électroniques (DME) et les systèmes de planification des soins, peuvent être utilisés pour collecter et stocker les données de santé des patients. Ces données peuvent être utilisées pour aider les prestataires de soins de santé à prendre des décisions éclairées sur les soins à prodiguer.
- **Suivi à distance** : L'IoT peut être utilisé pour suivre les patients à distance, ce qui permet de réduire les coûts de soins de santé et d'améliorer l'efficacité des soins. Par exemple, les patients atteints de maladies chroniques peuvent être surveillés à distance pour détecter les symptômes précoces de complications, ce qui permet de prendre des mesures pour éviter une hospitalisation coûteuse.
- **Amélioration de la sécurité des patients** : L'IoT peut être utilisé pour améliorer la sécurité des patients en réduisant les erreurs médicales. Par exemple, les étiquettes de médicaments intelligentes peuvent être utilisées pour garantir que les patients reçoivent les bons médicaments au bon moment.

Dans l'industrie, voici quelques exemples d'applications :

Maintenance prédictive

Les capteurs IoT peuvent être installés sur les machines pour surveiller leur état et détecter les pannes avant qu'elles ne se produisent. Cela permet de planifier la maintenance de manière proactive et de minimiser les temps d'arrêt imprévus.

La maintenance prédictive est gérée par un système de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) qui consiste à anticiper les **besoins de maintenance** pour éviter les pannes de la production suite à une avarie sur une machine. Pour une maintenance prédictive optimale, il est possible de combiner différentes méthodologies pour obtenir de meilleurs résultats. Nous vous présentons trois méthodes de maintenance.

Avant toute chose, il faut :

- Lister les pièces à surveiller,
- Établir les seuils d'alerte,
- Définir la périodicité de la vérification,
- Auditer la mise en place de la maintenance prédictive dans votre entreprise,
- Mettre à jour la procédure dans le plan de maintenance préventive.

Optimisation des processus

l'IoT peut être utilisé pour collecter des données sur les différentes étapes du processus de production, ce qui permet d'identifier les goulots d'étranglement et d'optimiser la production.

Gestion de la chaîne d'approvisionnement

l'IoT peut être utilisé pour suivre les produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement, ce qui permet de garantir la qualité et la sécurité des produits, ainsi que d'optimiser les coûts.

Surveillance environnementale

les capteurs IoT peuvent être utilisés pour surveiller la qualité de l'air, de l'eau et du sol, ce qui permet de prévenir les risques environnementaux et de réduire les coûts liés à la conformité réglementaire.

Amélioration de la sécurité

L'IoT peut être utilisé pour surveiller les conditions de travail et prévenir les accidents. Par exemple, des capteurs peuvent être installés sur les machines pour détecter les mouvements dangereux et alerter les travailleurs.

Gestion énergétique

L'IoT peut être utilisé pour surveiller la consommation d'énergie et optimiser la production en fonction des besoins énergétiques. Cela permet de réduire les coûts et de minimiser l'impact environnemental

L'utilisation des compteurs dans les réseaux d'électricité, de gaz et d'eau permet aussi la détection des fuites et défauts, l'anticipation des besoins d'entretien, une meilleure gestion du réseau et le dépistage d'anomalies. Selon la recherche IOT Analytics, « plus de 203 millions de compteurs intelligents seront installés dans le monde en 2024, soit autant de points de collecte de données »

Résumé

L'IoT est central dans l'interconnexion des machines, des divers systèmes du système d'information. Les technologies relatives à ce concept se basent sur une collection de données qui proviennent des capteurs embarqués sur des machines. Ensuite les traités dans le système d'information. Cette Technologie Permet De:

- Avoir L'état Du Système Manière Permanente.
- Anticiper Via Des Ordres Donnés directement aux machines
- Rendre les capteurs des appareils intelligents à l'aide des modules d'acquisition.

Le traitement et le stockage des données recueillies se fait avec les technologies Cloud et BigData.



Prof. Khaoula BOUANANE

**Ecole Marocaine d'Ingénierie
(EMG)**

L'intelligence artificielle joue un rôle important dans l'industrie en automatisant certaines tâches, en améliorant la qualité et l'efficacité de la production, en réduisant les coûts et en augmentant la sécurité et aussi anticiper des événements futurs. Elle est utilisée dans la robotique, la maintenance, la fabrication, la consommation d'énergie, la qualité, la production, la logistique, les relations client etc. L'IA contient des domaines comme le machine learning et le deep learning qui permettent de créer des modèles d'apprentissage pour classifier et prédire des états des systèmes et machines. L'IA doit répondre aux enjeux éthiques de données et aussi impliquer l'être humain dans la prise de décision. Dans le futur, l'IA sera utilisée davantage surtout avec l'apparition des nouvelles technologies comme l'informatique quantique et la nanotechnologie.

INTRODUCTION :

Les entreprises modernes se développent et réussissent dans le contexte actuel pour une multitude de raisons différentes. Certaines sont connues pour leurs produits, d'autres pour leurs services, et d'autres encore pour des facteurs moins évidents comme une forte fidélité à la marque ou des campagnes publicitaires captivantes. « Votre entreprise peut avoir une solide clientèle, un excellent produit, un certain nombre de fournisseurs ainsi qu'une chaîne d'approvisionnement qui fonctionne parfaitement. Vos ventes pourraient même augmenter. Mais à l'extérieur de votre entreprise, votre secteur évolue rapidement. Si vous n'innovez pas, vous êtes à risque », Anna Walkowiak, conseillère d'affaires principale et responsable de l'innovation chez BDC (Banque de développement du Canada).

Si l'on examine les organisations qui sortent véritablement du lot aujourd'hui en tant que leaders incontestés dans leur secteur d'activité, il apparaît clairement qu'elles ont toutes un point commun : elles font toutes preuve d'innovation. Parmi ces leaders innovants, on trouve des organisations relativement nouvelles telles qu'Uber et Amazon – qui ont modifié les processus au cœur de leur secteur d'activité afin de bouleverser le statu quo – ainsi que des fleurons comme Microsoft et Apple, qui existent depuis des décennies mais doivent leur succès continu à une réinvention et une innovation constante. Pourtant, quel que soit son secteur d'activité ou son statut actuel, une entreprise ne peut espérer conserver un avantage concurrentiel si l'innovation ne fait pas partie de sa stratégie commerciale globale.

Selon les professionnels, la question la plus importante qu'une entreprise doit se poser est : « Que nous arrivera-t-il si nous n'innovons pas? ». La question est rhétorique. L'innovation dans la vie de l'entreprise joue toujours un double rôle : celui d'accélérateur de croissance mais aussi celui de « réflexe » de survie. Une entreprise qui n'innove pas risque d'être dépassée, de voir sa productivité baisser, de perdre de la clientèle et, finalement, de devoir fermer ses portes.

Les chefs d'entreprise se concentrent sur les facteurs qui peuvent les aider à se maintenir et à rester pertinents dans le milieu des affaires actuel, marqué par l'incertitude et la complexité, encore plus par la concurrence. Un facteur qui s'est intensifié en raison d'un accès plus large aux nouvelles technologies et des opportunités

accrues de partage de connaissances offertes par l'Internet. Et pour rester en tête à l'ère des perturbations, il est impératif de créer des modèles d'exploitation qui incitent à l'innovation et à l'exploitation réussie de nouvelles idées, ce qui est cruciale pour qu'une entreprise puisse améliorer ses processus, mettre sur le marché des produits et services nouveaux et/ou améliorés, accroître son efficacité et, surtout, améliorer sa rentabilité et sa productivité.

Poursuivez votre lecture pour explorer le concept d'innovation dans l'entreprise, évaluer son importance croissante, examiner ce qui rend l'innovation si essentielle et découvrir les mesures que les entreprises peuvent prendre pour devenir plus innovantes.

1. CRÉATIVITÉ / INVENTION / INNOVATION

Que ce soit dans le domaine de la technologie, de la recherche ou même des organisations humanitaires, le mot «innovation» est souvent annoncé et associé à la croissance, au potentiel et à l'attitude consistant à faire plus et à faire mieux. Tout comme l'« invention » et la « créativité », l'innovation est employée comme un mot tendance ou buzzword, souvent utilisé mais mal compris.

1.1. Créativité, imagination, innovation, invention... Quelles différences ?

Dans la pratique, les notions de créativité et d'innovation sont floues et abstraites. Nous constatons trop souvent combien le sens de ces mots est confus, pourtant, il existe des différences importantes.

Pour commencer, on ne peut pas comparer Créativité et Innovation. Ces mots appartiennent à des champs lexicaux différents ! C'est comme comparer « avion » et « voyage ». Créativité peut être comparée à Imagination et Innovation à Invention. Par exemple, certains considèrent que créativité et imagination sont synonymes, ou qu'une invention est nécessairement une innovation. Est-ce cela qui amène des personnes à se dire peu créatives, ou des inventeurs à ne pas savoir comment commercialiser leur prototype? Voici donc une définition des notions Imagination, Créativité, Invention et Innovation.



Figure 1: La Créativité est reliée à l'Imagination et l'Innovation à l'Invention !

a. L'imagination :

Commençons par l'imagination, cet espace que l'on se donne pour rêver le possible et l'impossible. C'est la capacité d'élaborer des images et des conceptions nouvelles ou impossibles à réaliser, de trouver des solutions originales à des situations réelles ou non.

L'imagination est la capacité de créer des images mentales, des idées ou des concepts qui ne sont pas présents dans la réalité physique immédiate. Elle permet à l'esprit de faire des associations, de combiner des éléments et de former des idées nouvelles à partir de celles qui existent déjà. L'imagination peut être considérée comme l'une des caractéristiques fondamentales de l'esprit humain. Elle peut être stimulée et développée par diverses activités, telles que la lecture, l'écriture, le dessin, la musique, la méditation, etc.

Il n'y a aucune limite à l'imagination. C'est un espace libre qui nous appartient. C'est le pouvoir des idées sans cadre et sans orientation. L'imagination est un espace personnel. Elle se moque de la réalité et des lois de la physique. Elle n'a qu'une limite, celle que l'on se donne. Notre mission est de pousser notre imaginaire et d'empêcher nos inhibitions de freiner cette richesse. Il y a un autre temps pour analyser ces pensées imaginatives qui semblent bizarres ou étranges, un moyen de les reconfigurer pour atteindre nos objectifs. On appelle cela la créativité.

b. La créativité :

La créativité est la capacité de produire des idées, des concepts ou des solutions nouvelles, originales, utiles et appropriées dans une structure imposée et une direction donnée. Le mot produire ici prend tout son sens. La créativité permet d'encadrer l'imagination, ce cadre pouvant être une contrainte de temps, légale, éthique, économique, etc.

La créativité implique souvent un processus de pensée divergente, c'est-à-dire la capacité à explorer différentes perspectives et à générer des idées alternatives.

La créativité peut prendre de nombreuses formes, telles que la création artistique, la résolution de problèmes, l'innovation technologique ou la conception de produits. Elle peut également être associée à des traits de personnalité tels que la curiosité, l'ouverture d'esprit, la flexibilité et la capacité à prendre des risques.

La créativité est souvent considérée comme une compétence précieuse et recherchée dans de nombreux domaines, notamment les arts, les sciences, l'entrepreneuriat, les affaires et l'éducation. Elle peut également être considérée comme un moyen de s'exprimer de manière authentique, de trouver du sens et de la satisfaction dans la vie.

L'imagination est donc étroitement liée à la créativité et à la pensée divergente. Elle est considérée comme une capacité essentielle de l'esprit humain, qui permet de développer la créativité, la curiosité et la pensée critique. Elle est également essentielle pour la résolution de problèmes, la prise de décisions et la planification à long terme.

c. L'invention :

Souvent une idée créative reste floue jusqu'à ce qu'elle entre dans la phase de test ou de prototypage pour devenir alors une invention. Pensez Vinci, pensez Edison. L'invention fait entrer l'idée dans le monde physique.

Également, l'invention ne suppose pas qu'un marché ait été trouvé. Plusieurs inventions n'ont jamais été commercialisées. Leonard de Vinci a toujours rêvé de voler et a inventé plusieurs machines pour y arriver. Elles n'ont jamais été commercialisées, mais ont sans doute inspiré plusieurs inventions et innovations modernes.

Elle peut prendre la forme d'un produit, d'un procédé, d'un appareil ou d'un système, et elle doit être suffisamment originale et novatrice pour être brevetable. L'invention

peut être le fruit d'une idée individuelle ou collective, et elle peut être développée dans de nombreux domaines, tels que la technologie, l'ingénierie, la médecine, la biotechnologie, les sciences, l'agriculture, etc.

L'invention peut être protégée par des droits de propriété intellectuelle tels que des brevets, des marques ou des droits d'auteur, qui permettent à l'inventeur de bénéficier d'une exclusivité temporaire sur l'utilisation, la commercialisation ou la distribution de son invention. Les inventions peuvent avoir un impact important sur l'économie et la société en général, en permettant de résoudre des problèmes, d'améliorer des processus, de créer de nouveaux produits et de stimuler l'innovation.

d. L'innovation :

L'innovation est le processus de création et d'introduction de nouvelles idées, de produits, de services ou de processus qui apportent une valeur ajoutée à l'entreprise ou à la société dans son ensemble. Elle implique généralement l'amélioration de l'existant en utilisant de nouvelles approches, des technologies émergentes, ou par la combinaison de nouvelles technologies, de nouvelles méthodes de travail, de nouveaux modèles d'affaires ou de nouveaux marchés pour répondre aux besoins non satisfaits des clients / consommateurs ou pour améliorer l'efficacité, la qualité, la compétitivité et la rentabilité de l'entreprise.

L'innovation peut être un moteur clé de la croissance économique, de la création d'emplois et de l'amélioration de la qualité de vie. Elle peut provenir de divers secteurs tels que l'industrie, l'éducation, la recherche et l'entrepreneuriat.

Quand votre invention est devenue un produit que vous vendez, un service que vous proposez ou un procédé que vous utilisez... Il ne s'agit pas d'une innovation. Il deviendra innovant s'il change de façon nouvelle vos procédés de fabrication, les habitudes de consommation de vos clients, etc.

Le concept de l'invention est très proche de celui de l'innovation. Contrairement à l'innovation – qui peut être une amélioration continue d'un produit/service/process qui existe déjà – une invention n'existait pas avant. Une innovation est construite sur une invention, mais toute invention ne donne pas lieu à une innovation.

1.2. Récapitulatif :

La créativité, c'est la production de ces idées originales et nouvelles. L'innovation est alors la capacité à convertir ces idées en quelque chose d'applicable, de leur donner du sens, de leur donner de la valeur dans un contexte concret. Cela veut dire qu'il y a tout un cycle à parcourir. Le paradoxe est que nous pouvons être très créatif, avoir beaucoup d'idées, mais finalement peu innovant. Pourquoi ? Parce que pour innover, il faut être capable de définir le problème et de bien le border. Ensuite, il faut produire des idées, bien choisir, sélectionner les idées qui doivent mener à des solutions précises et applicables. Finalement, il faut travailler sur leur mise en œuvre avant de recommencer sur un nouveau problème, puisqu'il s'agit d'un processus continu.

Les entreprises ont besoin de formaliser davantage d'innovations, pas de fournir plus d'idées. Ce qui signifie que le management doit aider et soutenir la créativité de leur équipe grâce à de la confiance, de l'écoute, du courage et une nouvelle approche de l'expérimentation et de l'échec ! En d'autres termes, ce n'est pas parce que vous avez été créatifs lors d'un brainstorming et produits plusieurs centaines d'idées que vous êtes innovants, si vous ne concrétisez pas. Et ce, quelques en soient la raison, que les idées soient irréalisables, trop chères, ne correspondent pas aux valeurs de l'entreprise ou soient sabotées par les tueurs d'innovation. Le nombre d'idée produite est pour beaucoup d'entreprises le critère qu'un brainstorming a bien fonctionné. Ce qui est une grave erreur !

2. L'INNOVATION EN ENTREPRISE :

De nos jours, l'innovation a une place importante dans le développement des entreprises. Pour faire face à une concurrence toujours plus accrue et à des clients toujours plus exigeants et informés, les entreprises même petites doivent innover.

Quand on parle d'innovation, on pense aux innovations scientifiques ou aux inventions révolutionnaires. Mais l'innovation ne s'arrête pas là.

L'innovation, en tant que concept, fait référence au processus que l'entreprise entreprend pour conceptualiser des idées, des produits et/ou des processus totalement nouveaux, ou pour aborder des idées, des produits et/ou des processus existants de manière nouvelle.

Mais l'innovation est aussi un état d'esprit, une volonté d'amélioration continue. Pour être innovant, il faut être créatif, avoir toujours de nouvelles idées, faire des recherches, savoir se remettre en question, ajuster et avoir de l'audace. Ce qu'il faut retenir, c'est que l'innovation doit augmenter la valeur de l'entreprise.

Au niveau macroéconomique, l'innovation est reconnue comme le facteur dominant de la croissance économique et de la spécialisation commerciale des pays (OCDE, 1997). Les innovations radicales façonnent les grandes mutations du monde et les innovations progressives (ou incrémentales) alimentent de manière continue le changement économique. L'innovation est une des rares notions consensuelles relatives à l'entreprise : elle est reconnue comme un facteur clé de compétitivité de l'industrie, de réponse aux attentes des clients, de création d'emplois qualifiés, et de motivation des salariés. Quel que soit le cadre d'analyse retenu, seule l'innovation semble pouvoir concilier les approches sociales et économiques de la croissance.

Dans le monde des affaires, il existe de nombreux types d'innovation qu'une entreprise peut poursuivre. Ils sont souvent liés directement à des produits individuels, à des processus internes ou à des flux de travail, ou encore à des modèles commerciaux. Certaines entreprises adoptent et combinent deux types ou plus d'innovation dans le but de stimuler la croissance tout en s'adaptant à un marché en constante évolution.

Apple est un excellent exemple d'une organisation qui a effectivement adopté l'innovation à plusieurs moments clés de son existence. Dans les années 90, par exemple, l'entreprise était au bord de la faillite, mais a réussi à l'éviter en s'associant à Microsoft, une société longtemps considérée comme l'ennemi. Cette décision a façonné l'ensemble de la philosophie d'entreprise d'Apple et a conduit à l'introduction de l'iMac, qui a marqué un tournant général pour l'entreprise. Cependant, ce n'était que le début pour Apple, le partenariat avec Microsoft a donné le coup d'envoi d'une ère de prise de risque innovante, qui a conduit à l'invention de produits technologiques que beaucoup considèrent aujourd'hui comme des éléments essentiels de leur vie – notamment les iPods, les iPhones, les MacBooks, les Apple Watches, les iPads et bien d'autres – ainsi qu'à l'invention d'iTunes, qui a effectivement remodelé l'industrie de la musique dans son ensemble.

L'innovation peut permettre à l'entreprise de se démarquer sur son marché. Elle peut également vous permettre d'améliorer la productivité, réduire vos coûts ou encore

établir de nouveaux partenariats.

2.1. Pourquoi l'innovation est-elle importante pour la réussite des entreprises ?

Nous avons tous entendu l'expression « s'adapter ou mourir » et pour que les entreprises réussissent dans le monde moderne d'aujourd'hui, c'est une vérité universelle. Prenez, par exemple, l'expansion massive des avancées technologiques au cours de la dernière décennie ; en raison de cette croissance extrême, les entreprises ont été contraintes de s'adapter et de se développer plus que jamais auparavant.

Ce besoin croissant de croissance et de changement offre également de nombreuses opportunités aux entreprises. Ces dernières ne peuvent pas se maintenir à flot si elles n'adoptent pas l'innovation et le changement. Voici des facteurs essentiels qui jugent de l'importance de l'innovation dans les entreprises.

a. L'innovation aide les entreprises à se développer

Si vous souhaitez développer votre entreprise afin de devenir plus prospère et plus rentable, il existe plusieurs façons d'atteindre cet objectif ; Vous pouvez choisir de continuer de se développer progressivement à mesure que vous perfectionnez vos produits et modèles commerciaux existants. Vous pouvez aussi choisir de développer votre entreprise en fusionnant ou en acquérant d'autres entreprises, ce qui est plus rapide, mais aussi généralement beaucoup plus coûteux. Ou bien vous pouvez choisir d'évoluer en repensant votre produit ou votre modèle d'entreprise – ou les deux, ce qui est un processus qui peut conduire à une expansion rapide et vous permettre de faire évoluer votre entreprise très vite.

Dans une récente enquête menée par le Boston Consulting Group (cabinet international de conseil en stratégie), 79 % des cadres interrogés ont déclaré que l'innovation figurait parmi leurs trois principales initiatives commerciales. Il faut noter que les entreprises qui se classent régulièrement dans le « top 50 des entreprises les plus innovantes » se concentrent toutes sur la science, la technologie et le développement. Ces entreprises poursuivent leur croissance tout en gardant une longueur d'avance sur la concurrence, car elles apprécient l'impact positif de l'innovation.

b. L'innovation aide les organisations à se différencier

L'innovation consiste essentiellement à faire quelque chose de différent de ce que font tous les autres acteurs du même secteur. Si votre entreprise innove dans ses produits, l'objectif est de développer ou de mettre à jour ses produits jusqu'à ce qu'il n'y ait plus rien de semblable sur le marché. Si votre entreprise innove dans ses processus, c'est parce que cela lui permettra d'économiser du temps, de l'argent ou d'autres ressources, et lui donnera un avantage concurrentiel sur les autres entreprises qui restent bloquées dans leurs systèmes. Dans un cas comme dans l'autre, votre organisation prend le temps d'essayer quelque chose de nouveau parce que s'en tenir au statu quo ne fonctionne tout simplement pas.

Pour mettre en place cette philosophie, la stratégie de l'Océan Bleu semble être un outil puissant. Elle permet de créer un nouveau marché sans concurrence et susciter une nouvelle demande inexplorée, et cela par la création d'innovations profitables qui vont faire évoluer l'entreprise dans un marché où elle sera seule. L'entreprise doit avoir une capacité de créativité stratégique plutôt que protéger ses avantages concurrentiels. L'innovation aide alors une organisation à se différencier et à différencier ses produits de la concurrence, ce qui peut être particulièrement puissant dans un secteur ou un marché sursaturé.

Si le fait d'apporter de la valeur à vos clients doit toujours être le principal objectif d'une entreprise, le fait de le faire d'une manière mémorable et différente de tout le monde peut également devenir un élément marquant de votre identité de marque et de votre stratégie commerciale.

c. L'innovation permet aux organisations de rester pertinentes

Le monde qui nous entoure est en constante évolution et, pour que votre entreprise reste pertinente et rentable, elle devra éventuellement s'adapter pour faire face à ces nouvelles réalités. La technologie s'avère être un facteur déterminant dans le besoin de changement. Pour quantifier l'impact récent, regardez les faits :

- 90 % des données mondiales ont été créées au cours des deux dernières années ;
- Plus de 570 nouveaux sites web sont créés chaque minute ;

- Plus que 8 milliards d'appareils sont connectés à l'internet.

Ces changements ont conduit à une nouvelle ère d'innovation à travers les modèles d'entreprise et les industries, permettant à de nouvelles entreprises d'entrer sur le marché et de perturber sérieusement les entreprises en place. En fait, les dirigeants pensent aujourd'hui que 40 % des entreprises du classement Fortune 500 disparaîtront au cours de la prochaine décennie en raison de ce niveau de perturbation numérique. De même qu'une start-up innove souvent pour s'imposer dans un secteur, les organisations établies doivent innover pour faire face à la concurrence et rester pertinentes dans cet environnement en mutation.

d. Répondre efficacement aux besoins des clients :

Cela implique de mieux comprendre les besoins des clients, de surveiller les tendances du marché et de rechercher des solutions nouvelles, innovantes et créatives. A la différence des autres méthodes d'innovation, le Design Thinking est une approche centrée sur l'utilisateur. Elle permet d'aborder les problèmes de manière itérative, en testant rapidement des solutions pour obtenir des feedbacks et apporter des améliorations constantes. Cette démarche a aussi la particularité d'entraîner une nouvelle organisation du travail en entreprise.

2.2. Les champions de l'innovation en 2022

Depuis plus d'une décennie, l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle réalise un classement annuel des pays les plus innovants de la planète. Ce palmarès s'appuie sur plusieurs éléments de mesure tels que le niveau de production créative, les demandes de brevet, les investissements en R&D, les infrastructures, mais aussi des indicateurs relatifs au contexte économique et aux capacités d'innovation propre à chaque pays.

Pour la 12ème année consécutive, la Suisse occupe la tête du classement, suivie par les États-Unis et la Suède. La France oscille entre la 11ème et la 12ème place, au coude-à-coude avec la Chine, mais devant un autre géant asiatique de l'innovation : le Japon.

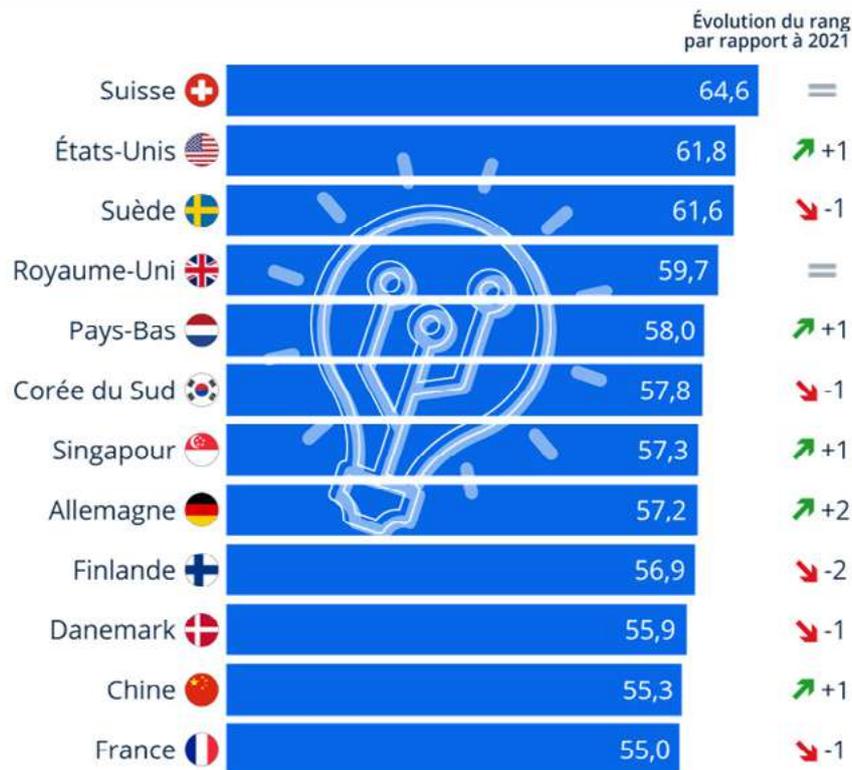


Figure 2: Classement des pays les plus innovants en 2022 selon l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle

3. POURQUOI INNOVER ?

Les innovations radicales façonnent les grandes mutations du monde et les innovations progressives alimentent continuellement le changement économique.

Pourquoi l'innovation est-elle importante pour l'entreprise ?

Nous avons tous entendu l'expression « s'adapter ou mourir » et pour que les entreprises réussissent dans le monde moderne d'aujourd'hui, c'est une vérité universelle. Prenez, par exemple, l'expansion massive des avancées technologiques au cours de la dernière décennie ; en raison de cette croissance extrême, les entreprises ont été contraintes de s'adapter et de se développer plus que jamais auparavant.

Ce besoin croissant de croissance et de changement offre également de nombreuses opportunités aux entreprises. Ces dernières ne peuvent pas se maintenir à flot si elles n'adoptent pas l'innovation et le changement.

a. L'innovation aide les entreprises à se développer

Si vous souhaitez développer votre entreprise, vous pouvez choisir de continuer de se développer progressivement à mesure que vous perfectionnez vos produits et modèles commerciaux existants. Vous pouvez aussi choisir de développer votre entreprise en fusionnant ou en acquérant d'autres entreprises, ce qui est plus rapide, mais aussi généralement beaucoup plus coûteux. Ou bien vous pouvez choisir d'évoluer en repensant votre produit ou votre modèle d'entreprise – ou les deux, ce qui est un processus qui peut conduire à une expansion rapide et vous permettre de faire évoluer votre entreprise très vite.

b. L'innovation aide les organisations à se différencier

L'innovation consiste également et essentiellement à faire quelque chose de différent de ce que font tous les autres acteurs du même secteur. Pour mettre en place une telle philosophie, la stratégie de l'Océan Bleu semble être un outil puissant. Elle permet de créer un nouveau marché sans concurrence et susciter une nouvelle demande inexplorée, et cela par la création d'innovations profitables qui vont faire évoluer l'entreprise dans un marché où elle sera seule.

Si le fait d'apporter de la valeur à vos clients doit toujours être le principal objectif d'une entreprise, le fait de le faire d'une manière mémorable et différente peut également devenir un élément marquant de votre identité de marque et de votre stratégie commerciale.

c. L'innovation aide l'entreprise à rester pertinente

Les changements technologiques récents ont conduit à une nouvelle ère d'innovation à travers les modèles d'entreprise et les industries, permettant à de nouvelles entreprises d'entrer sur le marché et de perturber sérieusement les entreprises en place. En fait, les statisticiens pensent aujourd'hui que 40 % des entreprises du classement Fortune 500 disparaîtront au cours de la prochaine décennie en raison de ce niveau de perturbation numérique. De même qu'une start-up innove souvent pour s'imposer dans un secteur, les organisations établies doivent innover pour faire face à la concurrence et rester pertinentes dans cet environnement en mutation.

4. EXEMPLES D'INNOVATIONS QUI ONT RÉVOLUTIONNÉES LE MONDE :

Nous vous proposons ci-dessous quelques exemples d'innovations dans certains domaines.

4.1 Innovations dans le secteur de l'industrie 4.0 : Optimiser l'industrie par la technologie

a. Smart Factory :

Le concept d'usine intelligente décrit un environnement dans lequel les machines et les équipements peuvent améliorer les processus grâce à l'automatisation et à l'auto-optimisation. Les systèmes s'adaptent de manière autonome. Les avantages vont au-delà de la production physique de biens et englobent des fonctions telles que la planification, la logistique de la chaîne d'approvisionnement et le développement de produits dans le cadre d'une implantation des innovations technologiques 4.0. De manière générale, la structure d'une usine intelligente peut inclure une combinaison de technologies de production, d'information et de communication.

b. Cobot :

Sorte de bras robotique entièrement articulé, le cobot partage le même espace de travail que l'opérateur. Il est conçu pour travailler à proximité des opérateurs ou en relation directe avec eux. Généralement, il prend en charge de manière simultanée les tâches chronophages et pénibles pour permettre à l'opérateur de se concentrer sur des actions plus minutieuses qui nécessitent la précision humaine. Le cobot permet un allègement des tâches contraignantes de l'opérateur. Cette solution de robotisation évite à l'opérateur de se mettre en danger ou de nuire à sa santé en réalisant des actions trop lourdes.

c. La réalité augmentée :

C'est une technologie qui a fait ses preuves, elle est intuitive et permet de gérer facilement des procédures de plus en plus complexes : La conception, la simulation, la maintenance, la formation des équipes industrielles, le marketing, Les protocoles traditionnels de maintenance, d'assemblage ou de qualité sont remplacés par des

modes opératoires entièrement digitalisés : l'opérateur conserve les mains libres pour réaliser ses tâches deux fois plus vite. Les objets virtuels apparaissent au bon endroit et au bon moment dans le champ de vision de l'opérateur : il sait exactement quel geste il doit réaliser en cas de doute ou de manque d'expérience sur une opération complexe.

d. Digital Twins :

Ou les jumeaux numériques, c'est un modèle virtuel d'un objet physique, sert à tester divers scénarios de comportement ou de vieillissement. Il fonctionne en répliquant numériquement un actif physique dans l'environnement virtuel, y compris ses fonctionnalités, ses caractéristiques et son comportement. Cette représentation est créée à l'aide de capteurs intelligents qui collectent les données du produit. Ce concept est utilisé dans la construction, la fabrication, l'énergie, l'automobile, les soins médicaux... Les jumeaux numériques permettent une prévention des pannes potentielles et de l'usure des machines ou des composants, une amélioration élevée des performances, une surveillance à distance en temps réel, une meilleure prise de décision financière, ...

4.2. Innovations dans le secteur de la HealthTech : La technologie au cœur de la prévention santé

a. La poignée de porte auto-désinfectante :

CleanMotion a développé une poignée de porte qui se désinfecte automatiquement après chaque utilisation, dans le but d'améliorer l'hygiène dans les lieux à haute fréquentation. Son mode d'emploi est très simple ; une fois la poignée relâchée par l'utilisateur, un anneau désinfectant situé à la base de la poignée fait un aller-retour, répartissant un liquide désinfectant sur toute la surface.Éliminant 99% de bactéries, tout en restant très facile d'utilisation, la poignée de porte désinfectante s'installe facilement, et demande une recharge simple toutes les 2000 utilisations.

b. Brosse à dents connectée : Philips Sonicare 9900 Prestige

Elle utilise l'IA pour s'adapter aux habitudes de son utilisateur et régler son intensité au cours du brossage. Une application associée permet d'obtenir des rapports sur le brossage et des recommandations personnalisées.

c. Messag'in :

Il s'agit d'un outil pour améliorer la communication avec les personnes sourdes et malentendantes. Chaque interlocuteur doit avoir un smartphone avec l'application téléchargée. Lorsqu'un interlocuteur prend la parole dans son smartphone, la prise de parole est empêchée pour les autres qui sont dans la boucle. Ainsi, cela permet de n'entendre que le son de la voix de personne en question, sans être gêné par des bruits parasites. De plus, Messag'in propose également un outil de reconnaissance vocale automatique et de sous-titrage en temps réel.

d. Scanner alimentaire :

NUVI Lab est un scanner alimentaire qui détecte les types et la quantité de nourriture en moins de 0,5 seconde. Juste en scannant, l'application peut fournir diverses commodités : des informations sur l'analyse du régime alimentaire, telles que l'équilibre nutritionnel personnel, la vitesse de consommation, les aliments préférés, etc.

e. Détecteur de crises d'épilepsie :

Le centre médical de La Teppe (centre d'accueil des personnes épileptiques) développe cet outil qui pourra non seulement sauver des vies, mais également de diminuer le sentiment d'insécurité permanente des personnes épileptiques. Ce système se compose d'un patch connecté, discret, et d'une application mobile.

f. Rayons laser pour améliorer la marche :

Un nouveau système mis au point par la start-up danoise Walk With Path a vu le jour pour aider les personnes atteintes de la maladie de Parkinson à retrouver une marche naturelle et plus fluide. Concrètement, il s'agit d'un petit boîtier fixé sur la chaussure qui projette devant la personne une ligne horizontale et lumineuse à franchir. À chaque pas, un nouveau trait coloré apparaît devant le pied censé avancer. Ce repère visuel réduit les phénomènes de blocages qui parasitent la marche. En effet, les personnes touchées par la maladie de Parkinson ont souvent la sensation d'avoir les deux pieds collés au sol. Ils sont incapables de marcher malgré leur envie d'avancer. C'est à ce type de blocage auquel souhaite répondre cette innovation.

g. Médecine hyper personnalisée :

C'est une médecine génétique conçue pour un seul patient va rendre possible le traitement de maladies autrefois incurables. La question du coût risque de limiter la généralisation de tels médicaments.

h. Baracoda :

C'est un groupe d'innovateurs, d'entrepreneurs et de créateurs de technologies de la santé au quotidien. Il conçoit et produit des objets connectés et des services destinés à la prévention dans les domaines de la santé, du bien-être et de la sécurité. La mission du groupe Baracoda est de créer des usages intelligents et durables pour que chacun puisse pratiquer des gestes préventifs à la maison : l'hygiène bucco-dentaire, la santé de la peau, le poids, la beauté...

4.3. Innovations dans le secteur commercial :

À l'instar des autres secteurs d'activités, le secteur commercial est loin d'être statique. Il est continuellement sujet à des nouveautés auxquelles il faut se préparer, et être révolutionné par des innovations technologiques récentes :

a. Robots et drones livreurs :

Le géant JD.com (entreprise chinoise de commerce en ligne), concurrent direct d'Alibaba en Chine, livre ses clients via 7 types de drones différents et dispose d'une centaine de lignes de livraison dans toute la Chine. L'entreprise alimentaire PepsiCo emploie des robots de livraison sur plusieurs campus américains.

Cette technologie répondra évidemment à un défi majeur: la réduction des délais de livraison (90 % des commandes de JD.com sont livrées le jour même ou le lendemain). Elle permettra également de toucher un public plus large, d'augmenter la satisfaction de leurs clients et d'améliorer leur gestion logistique.

b. Réalité augmentée

La réalité augmentée est une technologie qui permet de placer des éléments virtuels (2D ou 3D) dans un environnement réel. Véritable « extension de la réalité ».

L'enseigne suédoise de conception et vente d'ameublement IKEA, mobilise déjà cette technologie en permettant à ses clients de placer virtuellement ses produits dans leurs pièces via un smartphone. Le client peut donc tester par exemple si le canapé qu'il entend acheter s'accorde ou non avec son espace. Un autre exemple est celui de l'application « Wanna Kicks », via laquelle il est possible d'essayer virtuellement différentes paires de baskets.

c. Magasins sans personnel et sans caissier :

Selon les études, 87 % des consommateurs préfèrent utiliser des méthodes de paiement sans contact ou en libre-service. Le leader de la vente au détail, Amazon, fût l'un des premiers à rendre le processus d'achat plus fluide grâce à la technologie. Son système « Just Walk Out », basé sur la vision par ordinateur, propose aux clients de payer leurs achats par carte de crédit, sans même passer par la caisse. En effet, lorsqu'ils mettent les articles dans un panier physique, un système basé sur l'IoT (Internet of Things) les suit dans un panier virtuel. Une fois qu'ils ont terminé, tous les articles achetés sont automatiquement payés lorsque le client quitte le magasin.

d. Commerce vocal

Nombreuses sont les recherches qui indiquent que la technologie de commande vocale est très utilisée de nos jours. Aujourd'hui, nous constatons que l'impact de cette technologie, qui a commencé par doper le marché de l'e-commerce mondial, s'est étendu à la vente physique, ce qui a provoqué l'émergence d'un nouveau concept : le commerce vocal.

La chaîne de grande distribution américaine Walmart a adopté cette nouvelle technologie en créant un service de commande vocale, qui peut être mobilisé à partir de n'importe quelle plateforme fonctionnant sous Siri ou Google Assistant. Un client n'a besoin pour faire ses achats que de citer les produits qu'il souhaite se procurer par commande vocale. Pour activer ce service, il suffit de dire « Hey Siri/Google, parlez à Walmart ». Une fois qu'il a fini, les employés de Walmart rassemblent les articles sélectionnés et les lui livrent à domicile.

e. Le m-commerce

Une enquête, publiée par eMarketer en 2020, estime que 50 % du chiffre d'affaires de l'e-commerce mondial sera généré via des appareils mobiles. S'intéressant également

à l'impact du mobile sur le secteur de la vente en ligne, Salesforce a également produit un rapport selon lequel 71 % des acheteurs en ligne utilisent leur smartphone pour parcourir les produits et les avis clients avant d'effectuer leurs achats.

Ces chiffres sont tellement révélateurs que l'on parle aujourd'hui du m-commerce (e-commerce sur mobile). Il est donc clair que pour booster leurs ventes, les entreprises ne peuvent plus compter que sur un site web. Celui-ci doit être parfaitement compatible avec les terminaux mobiles et offre une expérience utilisateur irréprochable.

5. NIVEAUX D'INNOVATION :

Tout d'abord, nous devons comprendre que l'innovation peut avoir un impact sur les produits, les services et/ou les processus de différentes manières. Le plus souvent, nous distinguons 4 niveaux d'innovation selon qu'ils ouvrent de nouveaux marchés ou que la technologie change.

- Ce classement dépend de deux paramètres :
- L'impact marketing : qualifie l'impact de l'innovation sur les habitudes et les comportements du consommateur ;
- L'impact technologique : concerne l'influence de l'innovation sur la technologie requise et sur les compétences nécessaires pour sa mise en œuvre.

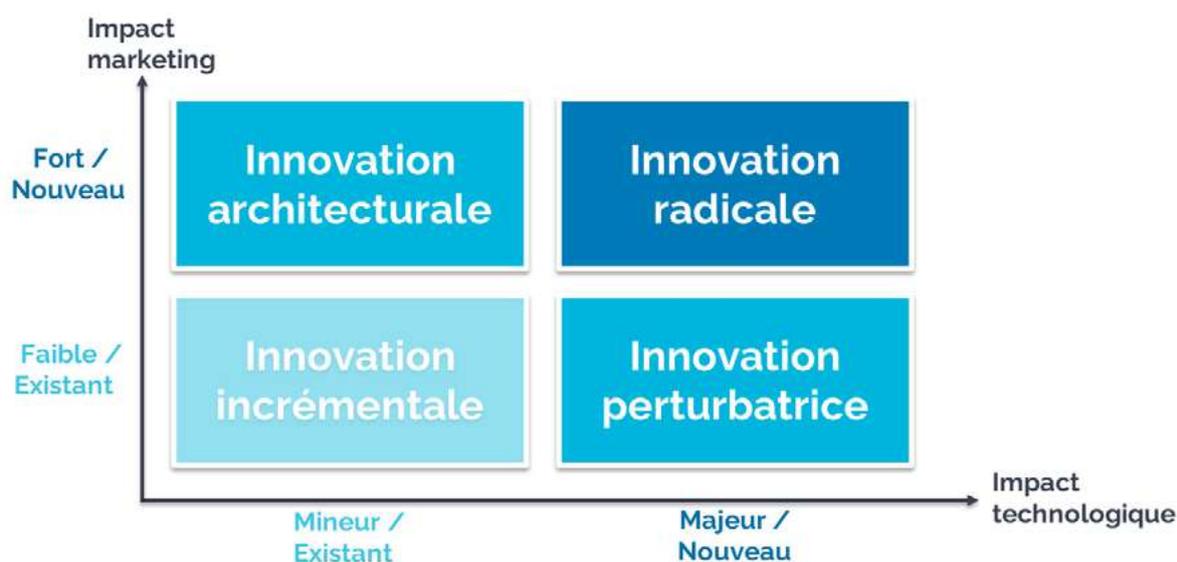


Figure3: Les quatre niveaux d'innovation selon l'impact technologique et l'impact marketing

a. L'innovation incrémentale : Technologie existante / Marché existant

L'innovation incrémentale, continue ou de routine est l'une des formes d'innovation les plus courantes que l'on puisse observer. Elle consiste à faire évoluer les produits existants sans changer leur Business Model. Donc, nous améliorons un produit ou un service déjà présent sur un marché mature en optimisant ses performances ou son utilisation (nouvelle fonctionnalité, nouveau design, ...). Elle ne perturbe ni les habitudes clients ni les compétences de l'entreprise en matière de technologie.

Sa particularité est qu'elle ne modifie pas le produit ou le service dans son entièreté. D'un autre côté, l'entreprise conserve sa clientèle en proposant un modèle plus performant et en renforçant sa position sur le marché. Ce type d'innovation permet également de réduire les coûts (dans certains cas) ou de s'adapter aux normes, tout en gardant le positionnement du produit dans son marché. Elle est, en effet, la plus rentable de tous les autres niveaux !

Le meilleur exemple est sans doute celui des voitures. Prenons la mythique Golf de chez Volkswagen : l'un des modèles les plus populaires de l'histoire de l'industrie automobile. Cette marque a apporté de nombreuses modifications à son modèle de voiture Golf (lancée il y a 48 ans et vendue à plus de 40 millions d'exemplaires à travers le monde au fil de huit générations). Il en est de même pour les smartphones qui

proposent continuellement de nouvelles améliorations sans changer le produit (autonomie de la batterie, taille de l'écran, qualité des photos, etc...). Un autre secteur qui met en place des innovations incrémentales est celui des microprocesseurs. Ces derniers prennent de moins en moins de place et stockent de plus en plus de données. Néanmoins, leur technologie n'a pas fondamentalement changé.

b. L'innovation perturbatrice : Nouvelle Technologie / Marché existant

L'innovation perturbatrice est caractérisée par un bond technologique et peu de conséquences sur le client. Elle est principalement associée à l'application de nouvelles technologies, de nouveaux processus ou de modèles commerciaux perturbateurs à des industries existantes. Le défi ici étant purement technique ; on ne cherche pas à révolutionner le marché avec un nouveau type de Business Model, on cherche plutôt à modifier les comportements d'usages en changeant le produit. Le but est donc de créer un nouveau produit à placer dans les marchés existants. On dit que c'est une innovation adjacente de produit. Les exemples sont multiples, nous citons quelques-uns :

- Les téléviseurs à écran plat : les technologies évoluent (LCD, plasma en remplacement du tube cathodique) sans que la manière d'utiliser la télévision change du côté client.
- Amazon a utilisé les technologies de l'internet pour perturber le secteur existant des librairies. L'entreprise disposait du marché existant des livres, mais a changé la manière dont ils étaient vendus, livrés et vécus grâce à l'e-commerce.
- Les lecteurs cassettes, ou le fameux Walkman. Remplacé par le lecteur CD puis le MP3, maintenant on privilégie les plateformes de Streaming (Spotify, Deezer) pour écouter de la musique.

c. L'innovation architecturale : Technologie existante / Nouveau marché

L'innovation architecturale (ou de rupture) remet en cause ou provoque une rupture avec le modèle économique actuel. En restant dans son domaine de compétences, l'entreprise lance un produit déjà existant mais en lui attribuant un nouvel usage, ce qui permet la création d'un nouveau marché. Ainsi, l'innovation architecturale va

bouleverser les marchés existants, et fait de son initiateur la référence à suivre. Elle vient également déstabiliser la concurrence et l'oblige à s'adapter en l'imitant. L'objectif ici est de « démocratiser » le produit ou service pour le rendre accessible au plus grand nombre en termes de coût et/ou d'usage. Elle n'implique pas forcément une innovation technologique. On parle alors d'innovation adjacente de marché.

Nous voyons actuellement ce niveau d'innovation chez les géants de la technologie et les orchestrateurs d'écosystèmes numériques comme Amazon, Alibaba, Google et bien d'autres. Ils prennent leur expertise du domaine, leur technologie et leurs compétences et les appliquent à un marché différent. Un autre exemple est celui d'Uber et Uber Eats. Ce nouveau Business Model a permis la création d'un nouveau marché, en utilisant les concepts existants (applications, Internet).

d. L'innovation radicale : Nouvelle technologie / Nouveau marché

Même si c'est la façon stéréotypée dont la plupart des gens voient l'innovation, c'est la forme la plus rare de toutes. L'innovation radicale implique la création de technologies, de services et de modèles commerciaux qui ouvrent des marchés entièrement nouveaux. Elle rassemble la rupture technologique et la rupture du Business Model. Elle implique également l'intégration de nouvelles compétences au sein de l'entreprise pour assurer une efficace prise en charge du projet. De plus, elle peut être accompagnée de quelques innovations incrémentales afin de renforcer l'efficacité du produit.

Cette approche met l'utilisateur face à un produit/service innovant, à l'égard duquel, il peut exprimer une sensation de satisfaction, de stupéfaction ou de rejet. Donc, l'innovation radicale porte un grand risque d'investissement, et il est possible que le projet n'aboutisse pas. De ce fait, elle est de loin l'innovation la plus compliquée et surtout la plus difficile à mettre en place.

Le meilleur exemple d'innovation radicale est l'invention de l'avion. Cette nouvelle technologie radicale a ouvert une nouvelle forme de voyage, inventé une industrie et un tout nouveau marché. Parmi les entreprises les plus connues qui ont également réussi l'innovation radicale, nous citons Google, Microsoft et Facebook. Nous trouvons aussi l'entreprise québécoise de divertissement artistique spécialisée en cirque contemporain « Cirque du Soleil » qui a lancé son projet malgré la conjoncture économique difficile pour l'industrie du cirque traditionnel. Cette startup a révolutionné le secteur et lui a donné vie grâce à ses spectacles inédits qui étaient basés sur les

performances musicales et les acrobaties de ses artistes.

6. DOMAINES DE L'INNOVATION :

Dans cette partie, nous nous appuyerons principalement sur les définitions proposées par l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) dans le cadre du Manuel d'Oslo (OCDE, 2005).

Lorsque nous parlons d'innovation, par réflexe la plupart des gens pensent à de nouveaux produits, alors qu'il existe un large éventail de résultats possibles. Le manuel d'Oslo classe les domaines de l'innovation dans 4 catégories distinctes :

- Innovations technologiques :
 - Innovation de produit
 - Innovation de procédé
- Innovations non-technologiques :
 - Innovation de commercialisation
 - Innovation d'organisation

Les modèles les plus anciens étaient principalement centrés sur l'innovation technologique de produit et de procédé, mais désormais, l'innovation non technologique (de commercialisation et organisationnelle) a toute sa place dans les stratégies des entreprises. Pourtant, On peut déjà mettre en défaut la pertinence cette classification entre les éléments technologiques et non-technologiques dans la mesure où, par exemple, les innovations de commercialisation s'appuient actuellement largement sur des innovations technologiques. Le e-commerce en est un exemple parmi d'autres.

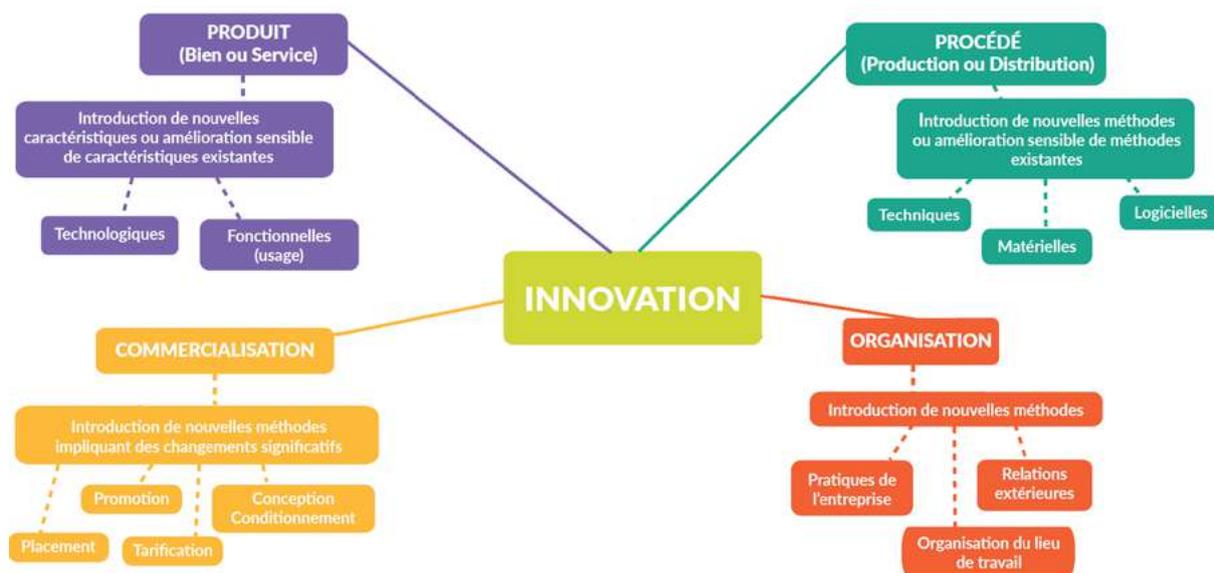


Figure 4: Schéma construit à partir des définitions du Manuel d'Oslo (OCDE, 2002)

a. Innovation de produit :

Définition OCDE : « Introduction sur le marché d'un produit (bien ou service) nouveau ou significativement amélioré au regard de ses caractéristiques essentielles. ». Pour un produit, la nouveauté ou l'amélioration peut porter sur la technologie employée, ou sur ses caractéristiques fonctionnelles et son usage. Autrement dit, il n'est pas nécessaire d'apporter un nouvel élément technologique pour innover : associer des technologies existantes pour proposer de nouvelles applications peut donner lieu à une innovation, et même à une innovation radicale.

L'innovation produit est la catégorie la mieux documentée dans la littérature. Les deux composantes de base en sont l'invention et le marché, et l'innovation naît de la rencontre des deux. L'invention (sur les caractéristiques technologiques ou fonctionnelles) est, en elle-même, insuffisante : pour qu'elle devienne innovation, elle doit déboucher sur un marché, c'est-à-dire être commercialisée, diffusée ou intégrée dans les usages.

L'innovation de produit est issue soit de l'innovation incrémentale (ou continue), qui fait évoluer les produits existants (exp : smartphone, voiture, ...), soit de l'innovation radicale qui invente des nouvelles catégories de produits.

b. Innovation de procédé :

Définition OCDE : « mise en œuvre d'un procédé de production, d'une méthode de distribution, d'une activité de soutien ou de support nouveau ou significativement amélioré pour les biens ou services ». Ces méthodes peuvent impliquer des moyens techniques, matériels ou logiciels. L'innovation de procédé peut aussi s'étendre aux activités support de l'entreprise, telles que les achats, la comptabilité, le calcul ou la maintenance.

L'innovation de procédé est peut-être la moins visible de toutes. Quand vous achetez une nouvelle voiture, vous ne savez pas forcément que sa construction est désormais presque totalement robotisée. Les gains ne sont pas forcément pour le client final (bien qu'elle puisse induire un gain pour lui) mais plutôt pour l'entreprise.

c. Innovation de commercialisation (ou de marketing)

Une innovation de commercialisation est liée à la mise en œuvre d'une nouvelle méthode changeant de façon significative la conception ou le conditionnement des produits, leur placement sur le lieu de vente, leur mode de promotion ou encore leur tarification. Elle vise à mieux satisfaire les besoins des consommateurs, à s'ouvrir sur de nouveaux marchés et à positionner, d'une nouvelle manière, un produit sur le marché.

Par exemple, un changement de forme ou d'aspect du produit, sans modification des caractéristiques technologiques ou fonctionnelles, est une innovation de commercialisation. L'innovation peut aussi venir d'un simple changement de la méthode de commercialisation. Le pionnier dans ce domaine a été l'introduction de la vente en ligne dans les entreprises qui ne la pratiquait pas auparavant.

La musique est un domaine presque symbole puisqu'il a connu en quelques années 2 innovations de commercialisation. La première a concerné la dématérialisation de la musique avec iTunes en 2004. La seconde concerne désormais le fait que nous n'achetons tout simplement plus de musique, nous payons un forfait mensuel à Deezer, Spotify ou Apple Music pour un accès illimité.

d. Innovation d'organisation :

Elle repose sur un changement dans les pratiques de l'entreprise, dans l'organisation du lieu de travail ou dans la manière dont les relations extérieures sont gérées.

Dans les anciens modèles de l'innovation, le changement organisationnel était vu comme une réaction face au progrès technique. Aujourd'hui, au contraire, l'innovation organisationnelle tend à être considérée comme un préalable à l'innovation technologique (OCDE, 2005). La formation des salariés, la distribution des responsabilités et la structuration de la prise de décision, ou encore l'intégration de partenaires ou de clients dans les processus de l'entreprise sont des exemples d'innovation organisationnelle. Il peut s'agir également d'innovations internes comme le télétravail, le travail à flux tendus, le self-service en restauration, ...

Parmi les innovations d'organisation les plus marquantes, on trouve bien évidemment l'entreprise Uber qui a révolutionné le métier du transport de personnes. Cette innovation a créé un modèle d'approche et de réflexion d'abord dans un domaine, mais elle a fait tellement réfléchir qu'elle occasionne des innovations en chaîne dans d'autres secteurs. Quel domaine ne craint pas d'être « ubériser » ? Ce nouveau verbe caractérise l'idée de sous-traiter une activité à des particuliers occasionnels et non plus des professionnels. Nous pourrions citer comme autre exemple de cette tendance, Airbnb dans le domaine de l'hôtellerie.

Les quatre catégories d'innovation contribuent toutes, de façon complémentaire, à l'amélioration des performances de l'entreprise. Cependant, de l'extérieur de l'entreprise, la catégorie d'innovation la plus visible, celle qui participe en général le plus à l'image de marque, reste l'innovation de produit.

Encore plus de domaines...

En dépassant la classification de l'OCDE, on pourra préconiser d'autres domaines d'innovation, tout en restant dans le monde de l'entreprise :

e. L'innovation opérationnelle :

Ce domaine d'innovation consiste soit à améliorer les opérations de l'entreprise en interne (l'amélioration continue) et/ou en externes, soit à réinventer complètement les processus opérationnels de l'entreprise.

Bien évidemment, ce domaine d'innovation peut rejoindre quelque part les innovations de procédé ou d'organisation mais elle en est transverse.

Nous pourrions citer, comme exemple, l'entreprise américaine de grande distribution Walmart. Elle a réinventé ses processus de distribution et de gestion des stocks, et a multiplié ses ventes par 1000 en 20 ans (1972 – 1992). Dans un domaine plus industriel, le Toyota Production System est le résultat également d'innovation opérationnelle.

Peu d'entreprise s'attachent à innover dans leurs opérations ; l'organisation hiérarchique traditionnelle des entreprises ne favorise pas l'émergence de cette innovation : en effet, la majorité des entreprises placent dans l'ordre, les finances, le marketing, les ventes et enfin les opérations en bas.

f. L'innovation stratégique :

L'innovation stratégique est la démarche qui consiste non pas seulement à repenser un produit, un service ou un procédé, mais à repenser entièrement un secteur. C'est une démarche similaire à la stratégie Océan Bleu.

g. L'innovation sociale :

Tous les domaines d'innovation que nous avons abordés jusqu'à maintenant concernent des innovations économiques et entrepreneuriales, qui visent à optimiser le marché, les produits, leur commercialisation, leur rentabilité, ... Mais nous n'allons pas attendre l'économie de marché pour innover et chercher à vivre dans un monde meilleur.

L'innovation sociale consiste à élaborer des réponses nouvelles à des besoins sociaux nouveaux ou mal satisfaits dans les conditions actuelles du marché. Le monde associatif est particulièrement à l'œuvre dans ce type d'innovation (exp : associations d'utilité public).

h. L'innovation environnementale

Voilà encore un autre domaine de l'innovation qui prend une importance croissante dans notre société sous la pression des faits liés au réchauffement climatique. Les énergies renouvelables, l'urbanisation verte (végétalisation), les constructions basse énergie, la démarche bio... les exemples ne manquent pas dans ce domaine et il constitue certainement une espérance majeure pour notre avenir sur terre.

7. CULTURE DE L'INNOVATION :

Une question qui tourmente l'esprit de tout dirigeant soucieux de l'avenir de son entreprise : Comment se fait-il que l'offre de vos concurrents, qui n'est pas si différente que la vôtre, vous surpasse ? Peut-être parce que ces entreprises tirent parti des avantages d'une culture de l'innovation continue. Une culture qui les aide à prendre des décisions plus rapidement, à sélectionner les personnes et les outils les plus appropriés pour chaque tâche, une culture qui agisse en temps réel suivant les retours de leurs collaborateurs et de leurs clients, une culture dans laquelle le partage des idées passe avant tout !

Examinons cette notion de culture de l'innovation, ses composantes et comment elle peut s'appliquer à l'entreprise.

7.1. Ce que les dirigeants doivent savoir sur la culture de l'innovation

La culture de l'innovation se résume à percevoir la créativité comme une vertu (et non comme une nuisance) et l'innovation comme un effet de bande d'un environnement managérial adapté (et pas comme un programme). La culture de l'innovation favorise la culture de la candeur, la liberté offerte aux collaborateurs d'exprimer leurs idées et d'expérimenter de leur propre initiative, même si le risque d'échec est élevé. La culture de l'innovation repose sur la collaboration déconnectée de la position hiérarchique ; celui qui est le plus en haut de la pyramide n'est plus celui qui a les meilleures idées. Ce qui explique que souvent la culture de l'innovation se résume à la démocratisation de l'innovation.

Malheureusement, nous sommes encore loin de voir la culture de l'innovation être aussi répandue que la culture de la performance ! Il s'agit souvent de modèles managériaux liés à certains managers et rarement à toute l'entreprise.

Cependant, il existe des critères éprouvés et des outils fiables qui peuvent aider à établir et encourager une culture de l'innovation dans toute organisation, quelle que soit sa taille. Une culture qui aidera l'entreprise à garder une longueur d'avance sur ses concurrents et à se développer en temps de crise et pas seulement survivre.

7.2. Comment développer une culture d'innovation ?

La première chose à comprendre est que l'innovation n'est pas un projet ponctuel – c'est un effort continu dans le temps qui n'a pas forcément besoin de méthode de facilitation.

Afin de rester compétitive dans la durée, toute entreprise doit soutenir l'esprit d'innovation et l'accompagner, notamment dans les grandes entreprises souvent structurées de manière moins agile qu'une start-up. Il n'est pas toujours question de technologie, elle peut concerner un process plus rationnel et efficace en interne, elle peut aussi impacter significativement le Business-model de l'entreprise. La stratégie consiste à ménager une place à l'exploration pour faire émerger des nouvelles idées et toujours conserver un avantage concurrentiel.

a. Trouver un juste équilibre entre exploitation et exploration

Une entreprise trop occupée à ses activités quotidiennes d'exploitation de l'existant et de la demande de ses clients risque de laisser passer des opportunités intéressantes de développement faute de consacrer des ressources suffisantes à l'exploration.

Chaque entreprise possède un univers qui lui est propre. Une telle stratégie va d'abord chercher à identifier les technologies, les process internes, les marchés qu'elle devrait améliorer et/ou mieux exploiter. Construire le succès de demain implique de pouvoir se décentrer de ses activités d'aujourd'hui !

b. Talents et Leadership :

Sans les talents ni le leadership adapté, une culture d'innovation ne pourra jamais surgir. Cette dernière dépend directement du style de management que l'entreprise propose à ses collaborateurs. Le talent attire le talent, les créatifs attirent les créatifs. Il faut disposer d'une marque d'employeur forte et visible, et valoriser la cooptation. Mais avant, il faut commencer par connaître ses appétences et celles de ses collaborateurs et les utiliser.

D'un autre côté, Le leadership est la clé de voûte de l'édifice. Il favorise l'émergence d'idées et la collaboration, il réduit la peur d'échouer et aide les collaborateurs à devenir propriétaires et responsables de la mise en œuvre de leurs idées.

c. Toujours rester attentif aux innovations radicales

L'exemple de Kodak est parlant. L'entreprise au succès mondial concernant la photographie argentique n'a pas su explorer et exploiter le tournant du numérique, ce qui l'amène au dépôt de bilan en janvier 2012. Trop concentrée sur ses activités propres, la firme rate le tournant numérique et le paye au prix fort.

Il s'agit de créer une échappée commerciale non pas en devançant les attentes de ses clients...mais en les surprenant grâce à l'innovation radicale ! Ce qui demande d'impliquer vos clients, pas pour leur demander leurs idées, mais pour tester vos hypothèses.

d. Adapter son Business-Model, le faire évoluer constamment

Les questions centrales du Business model – qui est le client-cible ? qu'est-ce qu'on lui offre ? quelle est la proposition de valeur ? comment réduire les coûts, améliorer les bénéfices ? – obtiennent des réponses non pas gravées dans le marbre, mais qui doivent évoluer avec le temps. Un marché en évolution permanente exige d'en prendre régulièrement la température. Aussi, renouveler les études des besoins et analyser les attentes et demandes des consommateurs d'une part, étudier la concurrence, ses évolutions et son positionnement, d'autre part, sont des impératifs.

e. Satisfaire des besoins

La priorité est de satisfaire des besoins. Une nouvelle offre singulière est d'abord une solution, qui produira une amélioration de vie. Il est question de se rendre attentif aux besoins de ses clients, de ses collaborateurs, de ses partenaires commerciaux, etc. La valeur ajoutée doit être évidente et reconnue, et la recherche de différenciation par l'originalité de l'offre et de la relation client doit être mise en avant.

f. Ecosystème et intrapreneuriat

Un écosystème d'innovation est l'ensemble des acteurs internes et externes à l'entreprise. En d'autres mots, c'est un réseau regroupant collaborateurs, entrepreneurs, experts, consultants, chercheurs, media et parfois même (dans le cadre de l'innovation ouverte) un client qui a une idée. Les écosystèmes d'innovation créent un flux actif d'informations et de ressources permettant aux idées de se transformer en réalité et de suivre les tendances quand elles ne sont encore que des signaux faibles*. Grâce

à un tel écosystème, vous créez un processus permettant à un plus grand nombre d'innovateurs et d'entrepreneurs de développer et de lancer des solutions pour échanger des idées ou résoudre des problèmes plus rapidement. Ce processus crée une expertise dans de nouveaux domaines, contribue à diversifier les sources de création de valeur et permet aux entreprises de rencontrer leurs clients là où ils se trouvent.

L'intrapreneuriat (l'entrepreneuriat en interne) va également permettre de faire émerger et de développer des projets innovants. En interne, le déploiement d'un pôle dédié est fondamental. Nous pourrions diviser ce pôle en trois départements qui sont trois terrains fertiles pour innover :

- La gestion interne de l'entreprise (cœur d'activité, structures, processus),
- Les produits et services (performances, caractéristiques),
- L'expérience client et les interactions (SAV, etc.)

C'est la capacité d'une entreprise à identifier et suivre les tendances qui lui sont utiles pour adapter le plus rapidement possible sa stratégie, produits/services et process afin de devancer les besoins de ses clients, créer de nouveaux marchés et se différencier de ses concurrents.

7.3. Conseils pour réussir une culture de l'innovation :

Afin de stimuler la croissance de l'entreprise, de rester pertinent dans des temps changeants et de se différencier de la concurrence, les chefs d'entreprise doivent être capables de penser de manière créative et d'intégrer l'innovation dans leurs modèles d'entreprise. Cela ne signifie pas pour autant que la volonté d'innover soit le seul ingrédient du succès : les dirigeants doivent également avoir une solide compréhension de la manière de donner vie à cette innovation.

a. Considérer l'innovation comme un enfant

Traitez la culture d'innovation de l'entreprise comme un enfant qui apprend à marcher ; fixez des limites strictes, mais laissez-le jouer comme il le souhaite. Les collaborateurs de votre organisation doivent comprendre ce que l'on attend d'eux :

fournir des solutions pratiques qui peuvent être reproduites et mises à l'échelle de manière abordable. Pour cela, vous devez les laisser suivre leurs propres approches, faire leurs propres erreurs et acquérir leur propre expérience. Plus facile à écrire qu'à faire, je sais. Il suffit de leur fixer les objectifs organisationnels, les capacités fondamentales et les domaines d'intervention, les services centrés sur le client et les engagements envers les parties prenantes.

b. Suivre une structure horizontale

Les grandes idées doivent être transmises immédiatement aux dirigeants, sans intermédiaire, sinon elles risquent de mourir en cours de route. Si vous voulez que votre entreprise devienne réellement innovante, organiser une réunion avec un dirigeant pour discuter d'une idée ne devrait pas demander plus d'efforts que de planifier un déjeuner avec un collègue. Cependant, ne sous-estimez pas les ressources internes nécessaires. Vous aurez besoin d'un cadre supérieur à plein temps pour mener à bien toute initiative de connexion et de développement.

c. Embaucher les meilleurs rapidement

Les personnes créatives ne poussent pas sur les arbres, elles surgissent quand elles envoient leur CV, quand vous visitez des incubateurs de startups ou organisez des événements qui permettent à vos collaborateurs de vous montrer une facette de leur personnalité que vous ne connaissiez pas. Entretenir de bonnes relations avec les universités vous permet de connaître les meilleurs diplômés.

d. N'ayez pas les yeux plus gros que le ventre

Une entreprise peut effectivement mourir de faim sans idées nouvelles, exactement comme elle peut mourir d'avoir trop d'idées et de ne pas savoir laquelle choisir. S'éparpiller pour mener à bien des dizaines de projets ne peut jamais apporter de bénéfices tangibles. Vos collaborateurs ne doivent pas avoir plus de deux projets en même temps et à des degrés de maturité différents. S'ils en ont d'avantage, ils ne seront pas en mesure de se concentrer efficacement sur l'un d'entre eux.

Le travail en réseau est essentiel

Vos managers, cadres et collaborateurs doivent activement participer à développer leur écosystème individuel de d'échange de connaissances. Que ce soit par LinkedIn,

par des rencontres en conférence ou à travers des hackathons, partager des idées sans peur de se les faire voler peut contribuer à de meilleurs résultats.

CONCLUSION

L'innovation pour l'entreprise n'est plus une obligation, c'est devenu vital ! C'est une garantie à garder un avantage concurrentiel, ce sont des parts de marché que l'on va prendre sur la concurrence, ce sont des marges que l'on va préserver, voir améliorer, c'est un chiffre d'affaires qui va se développer. En d'autres termes, l'innovation est la garantie de pérenniser l'entreprise dans un contexte qui évolue de plus en plus vite. Est-ce facile d'innover ? Innover ça ne s'improvise pas, il y a une démarche qu'il faut construire, et qui naît de l'impulsion du chef d'entreprise. Ce dernier va agrandir cette impulsion et engager les moyens internes et externes pour sa mise en œuvre.

D'un autre côté, l'entreprise doit être agile. Auparavant, la puissance de grandes entreprises était basée sur leur taille et leur capacité financière. En effet, les plus grandes mangeaient les petites. Maintenant, ce sont les plus rapides qui absorbent les plus lents et ça concerne les startups. Donc, une des recettes du succès est l'agilité de l'entreprise, la rapidité de l'exécution et de l'adaptation.



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



RISQUES ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Grandes pratiques du management industriel actuelles
et futures pour l'excellence opérationnelle l'homme





Prof. Fatima Azzahra EL MOUJADDIDI

**Ecole Marocaine d'Ingénierie
(EMG)**

De l'invention de la machine à vapeur pendant la révolution industrielle au XVIIIe siècle jusqu'à l'émergence de l'industrie 4.0 au XXIe siècle, les industries ont connu de grandes avancées, des progrès technologiques significatifs, mais également des risques industriels croissants.

Avec l'évolution industrielle on a assuré la progression des technologies, des processus et des méthodes de production au fil du temps, cependant, de nouveaux risques ont émergé. L'utilisation de machines plus complexes et puissantes, l'utilisation de produits chimiques dangereux, l'augmentation de la production et de la consommation d'énergie, ainsi que la gestion inadéquate des déchets industriels ont tous contribué à l'accroissement des risques industriels. Les risques industriels comprennent les accidents de travail, les pollutions environnementales, les problèmes de santé et de sécurité, les catastrophes industrielles majeures, etc

INTRODUCTION

De l'invention de la machine à vapeur pendant la révolution industrielle au XVIIIe siècle jusqu'à l'émergence de l'industrie 4.0 au XXIe siècle, les industries ont connu de grandes avancées, des progrès technologiques significatifs, mais également des risques industriels croissants.

Avec l'évolution industrielle on a assuré la progression des technologies, des processus et des méthodes de production au fil du temps, cependant, de nouveaux risques ont émergé. L'utilisation de machines plus complexes et puissantes, l'utilisation de produits chimiques dangereux, l'augmentation de la production et de la consommation d'énergie, ainsi que la gestion inadéquate des déchets industriels ont tous contribué à l'accroissement des risques industriels. Les risques industriels comprennent les accidents de travail, les pollutions environnementales, les problèmes de santé et de sécurité, les catastrophes industrielles majeures, etc.

Toutefois, nous avons assisté à l'émergence du "développement durable", qui est, un concept qui vise à répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Il repose sur trois piliers interconnectés : l'économie, l'environnement et le social. L'évolution industrielle a souvent été critiquée pour son impact négatif sur ces trois aspects du développement durable. Cependant, l'industrie 4.0 offre également des opportunités pour améliorer la durabilité industrielle grâce à l'optimisation des processus, à la réduction de la consommation d'énergie, à l'efficacité accrue des ressources, à la gestion intelligente des déchets, etc.

La relation entre l'évolution industrielle, les risques industriels et le développement durable est complexe car il existe des synergies et des tensions entre ces aspects. Par exemple, l'automatisation et l'utilisation de technologies avancées peuvent réduire les risques pour les travailleurs en remplaçant les tâches dangereuses par des machines, mais peuvent également engendrer de nouvelles formes de risques tels que la dépendance aux systèmes automatisés. De même, l'industrie 4.0 offre des opportunités pour améliorer la durabilité, mais elle peut également augmenter la consommation d'énergie et les déchets électroniques.

Le développement durable représente un défi majeur pour l'industrie, car il nécessite de trouver un équilibre entre la croissance économique, la préservation de l'environnement, et la pérennité sociale.

L'objectif du présent article est, de prime abord, simplifier et définir les concepts susmentionnés, souvent réservé pour les spécialistes. En second lieu, souligner l'interdépendance des dits principes. Enfin, s'arrêter sur la situation Marocaine en terme de développement durable. De ce fait, le présent article est structuré comme suit: une première partie qui définit et uniformise le langage relatif au concept du risque, du risque industriel et de sa gestion. Ensuite une deuxième partie qui traite La gestion des risques industriels entre développement durable et excellence opérationnelle, ou on apporte une lecture à la gestion de risque d'un angle de vue durabilité et excellence opérationnelle. La dernière partie traite le concept du développement durable, en le définissant, précisant ses aspects à l'échelle internationale, puis sur le plan national.

1. LE RISQUE ET RISQUE INDUSTRIEL

1.1. Qu'est-ce que le risque

Selon le bureau international de travail « BIT » : « Le terme risque désigne l'éventualité qu'un événement non désiré ayant des conséquences données survienne dans une période donnée ou dans des circonstances données, cette éventualité étant exprimée selon le cas en termes de fréquence (nombre d'événements donnés par unité de temps) ou en termes de probabilité (probabilité que se produise un événement donné à la suite d'un événement préalable).

D'après l'Organisation internationale de normalisation (ISO), le risque se définirait comme une « Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences»

- Le risque est donc la probabilité qu'un phénomène accidentel produise en un point donné des effets d'une gravité potentielle donnée, au cours d'une période déterminée.

Distinction à faire avec :

- DANGER: propriété intrinsèque à une substance, à un système qui peut conduire à un dommage ;

- SITUATION de DANGER: situation caractérisée par la coexistence, éventuellement temporaire, d'un élément de danger en interaction potentielle avec un « élément vulnérable » susceptible de subir des dommages ;



Figure 1: la relation danger, risque et situation de danger

1.1.1. Composantes du risque

Un événement potentiellement dangereux, l'ALÉA, ne se transforme en RISQUE que s'il s'applique à une zone où des ENJEUX humains, économiques ou environnementaux sont en présence et que cette zone a un certain degré de VULNERABILITE.

- Un aléa est un événement extrême représentant une menace pour les enjeux, c'est un agent externe au risque qui en soi est neutre, caractérisé par sa probabilité de réalisation (annuelle, décennale, centennale...) et son intensité (magnitude pour les séismes, hauteur et vitesse de l'eau pour les crues, largeur de bande pour les glissements de terrain ...)
- Les enjeux sont les bâtiments (habitations, sites industriels...), les infrastructures (réseaux d'eau /d'électricité, routes.), les cultures (agricoles, animales...), et naturellement la population
- Un aléa sismique en plein désert ne peut être considéré un risque majeur, vu les faibles enjeux ;
- Vulnérabilité : Agent interne au risque, c'est une propriété intrinsèque indiquant :

- » Le degré d'exposition aux enjeux
- » Degré de pertes ou dommages
- » Caractérisant l'enjeu en terme de :
 - › La capacité d'adaptation
 - › La capacité de résistance
 - › La capacité de résilience

Résilience :

- » Capacité d'absorption du choc
- » Capacité de retour à l'état initial
- » Capacité de retour à l'état d'équilibre

1.1.2. Types de risques

Les différents types de risques auxquels on peut être exposé sont regroupés en 5 grandes familles :

- les risques naturels : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique
- les risques technologiques : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriel, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- les risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses) sont des risques technologiques. On en fait cependant un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident
- les risques de la vie quotidienne (accidents domestiques, accidents de la route...)
- les risques liés aux conflits.

Seules les trois premières catégories font partie de ce qu'on appelle le risque majeur.

Deux critères caractérisent le risque majeur :

- une faible fréquence : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes
- une énorme gravité : nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

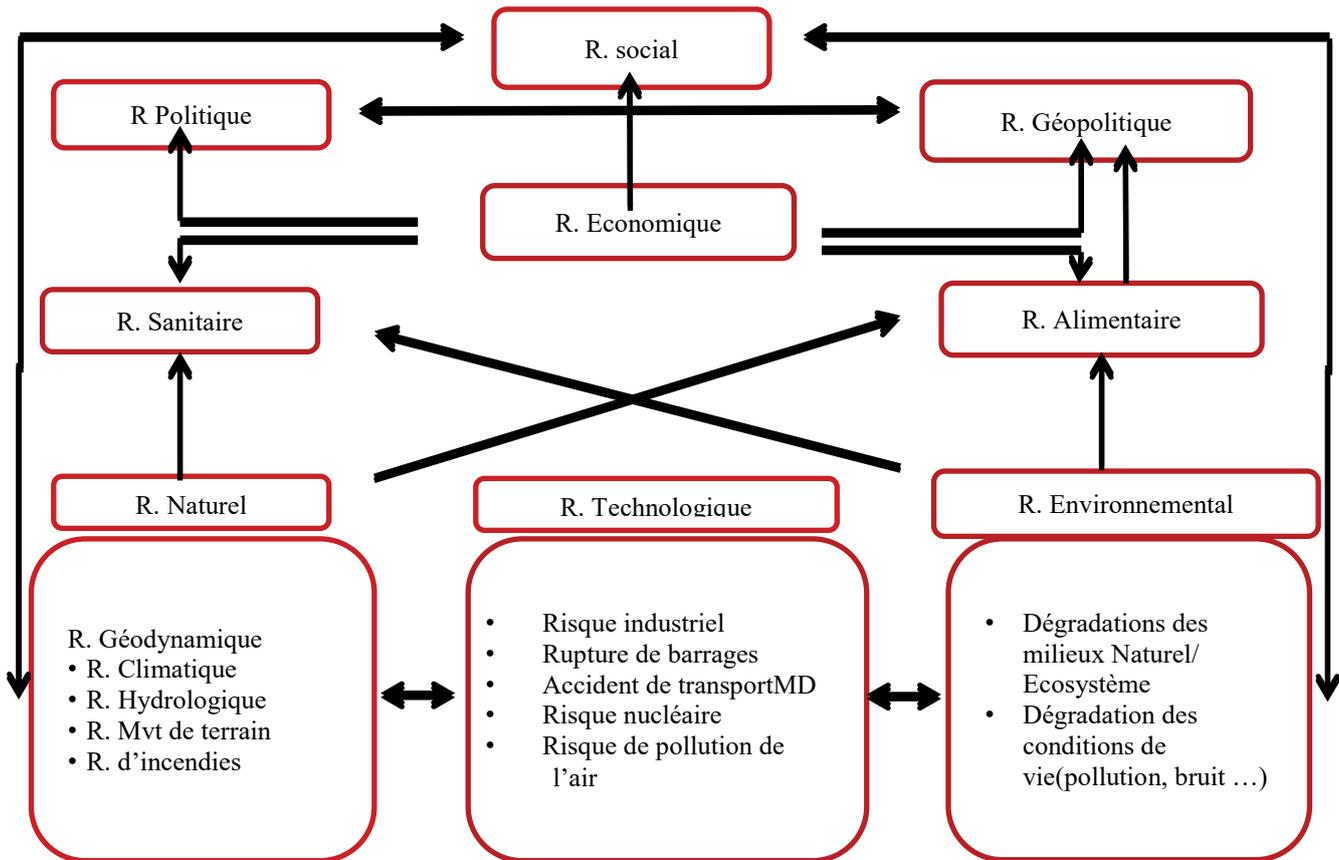


Figure 2: les différents types de risques et leurs interrelations

Dans le contexte du présent travail, on s'intéresse au "risques industriels", qui est un des risques, dits, technologiques.

1.2. Qu'est-ce qu'un risque industriel?

Un risque industriel majeur est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves sur la santé et la

sécurité des travailleurs, sur l'environnement, sur la réputation de l'entreprise et sur ses performances financières.

Les risques industriels peuvent être divisés en deux groupes en fonction de la gravité des accidents auxquels ils peuvent donner naissance :

1.2.1. Les risques professionnels

Les risques professionnels sont à l'origine des accidents du travail et des maladies professionnelles ou à caractère professionnel. Les conséquences de ces risques sont modérées et affectent essentiellement les salariés qui travaillent sur les lieux de l'accident.

- Les risques mécaniques : coupures, écrasements, chocs, blessures diverses
- Les risques électriques : électrisation et électrocution souvent
- Les risques physiques : acoustiques (surdité par exposition aux bruits intenses),...
- Les risques biologiques (maladies contractées par manipulation de germes pathogènes)
- Les risques dus aux manutentions manuelles d'ordre essentiellement Musculo-squelettiques

1.2.2. Les Risques industriels majeurs ou hauts risques

Les risques industriels majeurs ou hauts risques diffèrent des précédents par l'ampleur des accidents et des dégâts causés : nombre de victimes élevé non limité aux seuls salariés, destructions de bâtiments, pollution importante de l'environnement.

Les mesures de prévention sont souvent similaires à celles des risques professionnels, mais supposent des mesures techniques et administratives supplémentaires, justifiées par l'ampleur des dégâts causés.

1.3. La gestion des risques

1.3.1. la norme ISO 31000

Le management des risques est devenu une tendance pour les entreprises en croissance permanente, cette croissance est souvent accompagnée par l'enrichissement de leur portefeuille risque.

On ne peut pas parler de la gestion des risques sans évoquer la norme ISO 31000. La norme iso 31000 propose une approche générique du management du risque, Elle suggère de bonnes questions pour aborder le sujet complexe de la gestion des risques et non de bonnes pratiques pour y répondre ; les documents métiers sectoriels déjà développés ne sont donc pas rendus obsolètes par cette norme, Ils y trouvent au contraire un vocabulaire et un cadre global pour les situer ; Elle n'a donc pas pour but d'uniformiser les pratiques, mais d'harmoniser les démarches en termes de principes et de processus.

L'ISO 31000 ne concerne pas exclusivement les grands groupes industriels mais tout type d'organisme, de tous secteurs et de toutes tailles (entreprise, gouvernement, ONG, individu, etc.). Ses principes stipulent d'ailleurs que sa mise en œuvre doit être adaptée aux caractéristiques de l'organisme (taille, type de risque traité, etc.).

L'ISO 31000 est structurée en 4 grandes sections :

- Définition du vocabulaire employé dans la norme
- Etablissement des principes
- Description du cadre organisationnel
- Le processus de Management des risques.

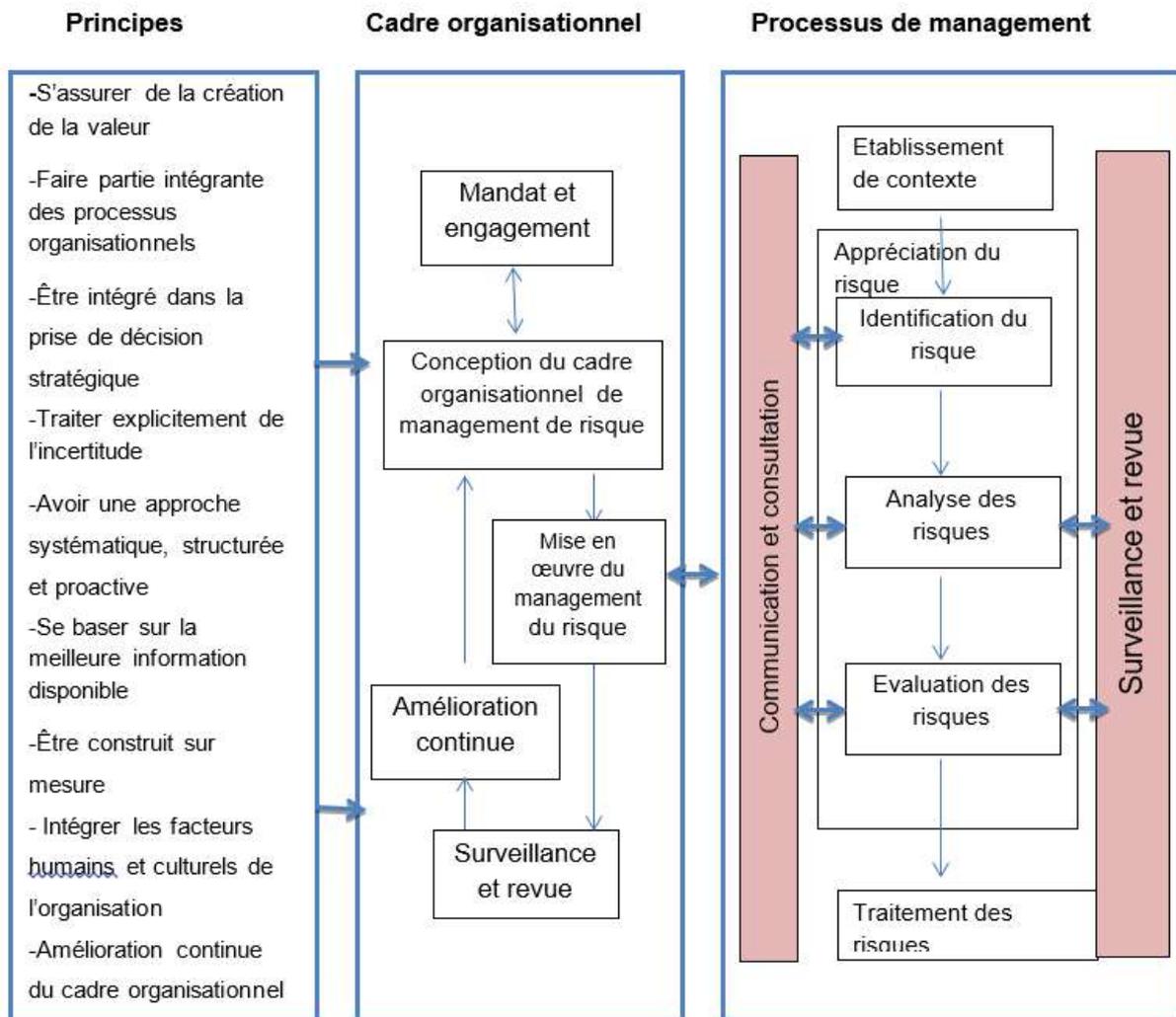


Figure 3: la structure de la norme ISO 31000

1.3.2. La gestion des risques industriels

La gestion des risques industriels ou le "risk management" est une démarche logique et systématique permettant d'identifier les opportunités et d'éviter ou de limiter les pertes. Elle fait partie intégrante de la mise en œuvre de la stratégie de toute organisation, protège le patrimoine et crée de la valeur pour celle-ci. Également, elle a pour objectif d'ajouter le maximum de valeur durable à chaque activité de l'organisation. Elle mobilise la compréhension des aléas positifs ou négatifs qui dérivent de tous les facteurs qui peuvent affecter l'organisation. En outre, elle contribue à l'amélioration de l'image de marque et renforce la concurrence et répond aux exigences clients. Enfin, elle assure les parties prenantes et les riverains quant à la pérennité de l'organisme notamment les banques et les assurances.

Le principe de gestion des risques industriels repose sur une approche systématique et proactive pour identifier, évaluer et gérer les risques associés aux activités industrielles. On peut présenter les principes clés de la gestion des risques industriels :

- Identification des risques : Il est essentiel d'identifier tous les risques potentiels liés aux activités industrielles. Cela peut être réalisé en effectuant des évaluations des risques, des analyses des modes de défaillance et des effets (AMDE), des revues documentaires, des inspections sur le terrain, des consultations d'experts, etc. L'identification des risques permet de prendre conscience des dangers potentiels auxquels l'entreprise est exposée.
- Évaluation des risques : Une fois les risques identifiés, ils doivent être évalués pour déterminer leur probabilité d'occurrence et leur gravité potentielle. Cela permet de classer les risques en fonction de leur niveau de criticité et d'établir des priorités pour la gestion. L'évaluation des risques peut être effectuée en utilisant des méthodes quantitatives ou qualitatives, en prenant en compte les conséquences sur la santé et la sécurité des travailleurs, sur l'environnement, sur les actifs de l'entreprise et sur sa réputation.
- Prévention et réduction des risques : Une fois les risques évalués, des mesures préventives et de réduction des risques doivent être mises en place. Cela peut inclure l'adoption de technologies plus sûres, l'amélioration des procédures de travail, l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI), l'installation de systèmes de sécurité, la formation des employés, etc. L'objectif est de réduire la probabilité d'occurrence des risques et de minimiser leurs impacts potentiels.
- Planification des mesures d'urgence : En plus des mesures préventives, il est important de planifier des mesures d'urgence pour faire face aux incidents ou accidents qui pourraient se produire malgré les efforts de prévention. Cela implique de mettre en place des plans d'intervention d'urgence détaillés, de former le personnel aux procédures d'urgence, de mettre en place des systèmes d'alerte et de communication, etc. La planification des mesures d'urgence permet de réduire les conséquences négatives en cas d'incident.
- Surveillance et amélioration continue : La gestion des risques industriels est un processus continu qui nécessite une surveillance régulière. Il est important d'évaluer régulièrement l'efficacité des mesures de gestion des risques mises en

place, d'effectuer des inspections de sécurité, des audits internes, des rapports d'incidents, des enquêtes en cas d'accidents, etc. Cette surveillance permet d'identifier les lacunes potentielles dans le système de gestion des risques et de prendre des mesures correctives pour améliorer en permanence la sécurité et la prévention des risques.

- Participation et communication : La gestion des risques industriels implique la participation et la communication entre tous les niveaux de l'organisation. Les employés doivent être encouragés à signaler les risques potentiels, à partager leurs préoccupations et à contribuer à l'amélioration continue.

2. LA GESTION DES RISQUES INDUSTRIELS ENTRE DÉVELOPPEMENT DURABLE ET EXCELLENCE OPÉRATIONNELLE

2.1. La gestion des risques "autrement vu"

Le présent travail se veut discuter les concepts de risque, de gestion des risques, et le développement durable et leur relation avec l'excellence opérationnelle. Dans ce contexte, on peut apporter une lecture différente à ces mêmes concepts sus mentionnés.

En ingénierie, toute activité industrielle peut être vue comme un processus résultant de la contribution des 5M. Le Diagramme Ishikawa est une représentation graphique qui permet de visualiser les causes d'un problème. Étant un outil de management, lié à la démarche qualité de l'entreprise, il s'intègre également aux problématiques de gestion des risques.

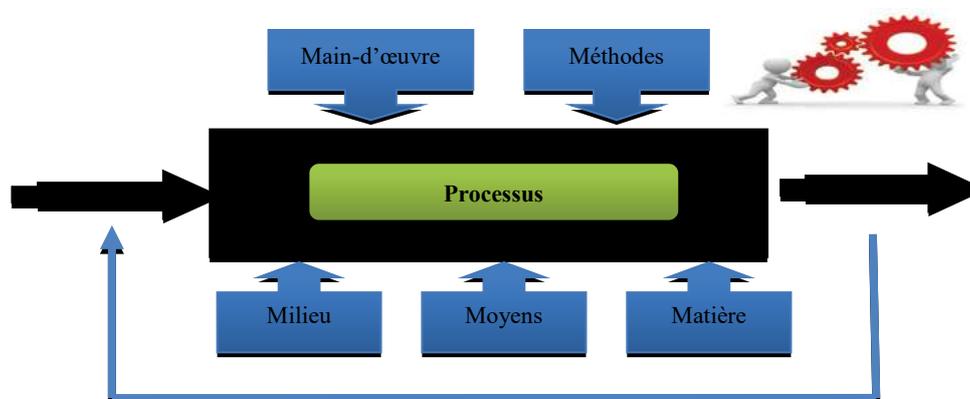


Figure 4: les 5M d'un processus

Sous cet angle de vue, la gestion des risques revient à gérer les risques relatifs à chacun des 5M. De cette optique il s'agit de plusieurs disciplines, techniques et méthodes qu'on peut regrouper comme suit :

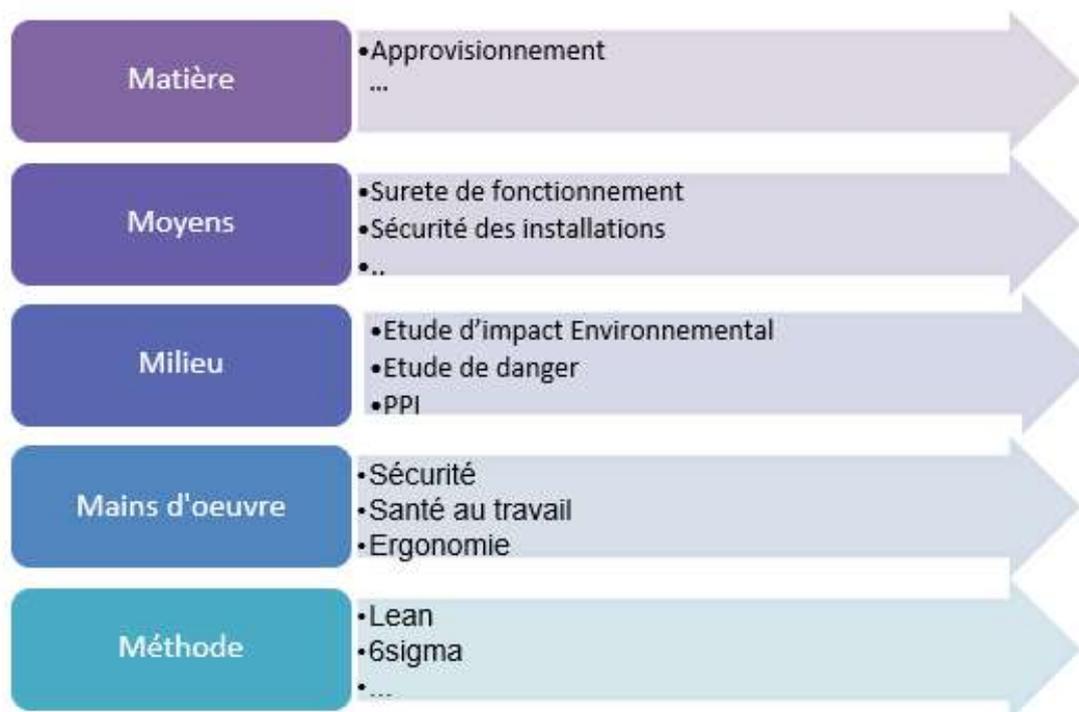


Figure 5: les approches de la gestion des risques pour chacun des 5M

En effet, L'évolution de la gestion des risques industriels a connu plusieurs changements importants au fil du temps, passant de considérations principalement économiques à des préoccupations environnementales et finalement à une approche axée sur le développement durable. Voici un aperçu de cette évolution :



Figure 6 : Evolution des aspects considérés dans l'activité industrielle

Dans un premier temps, on a considéré l'aspect économique (Fordisme). Au début du XXe siècle, l'approche dominante de la gestion des risques industriels était axée sur l'efficacité économique et la maximisation de la production. Le modèle de production

de masse, connu sous le nom de Fordisme, mettait l'accent sur la standardisation et la répétitivité des tâches pour augmenter la productivité et réduire les coûts. Les risques étaient souvent considérés comme des obstacles à la productivité et étaient principalement abordés d'un point de vue économique, en cherchant à minimiser les perturbations de la production et à optimiser l'efficacité opérationnelle.

Ensuite l'accent est mis sur l'aspect environnemental. Au cours du XXe siècle, avec la prise de conscience croissante des impacts environnementaux des activités industrielles, la gestion des risques a commencé à intégrer des considérations environnementales. Les risques liés à la pollution de l'air, de l'eau, du sol, ainsi que les risques liés à la gestion des déchets et aux émissions toxiques ont été identifiés et ont fait l'objet de réglementations plus strictes. Les entreprises ont été contraintes de prendre des mesures pour prévenir et réduire les risques environnementaux, ainsi que pour se conformer aux normes et réglementations environnementales.

Puis, on a assisté à l'émergence de l'aspect du développement durable : Au cours des dernières décennies, la gestion des risques industriels s'est davantage tournée vers le développement durable. Le développement durable englobe la prise en compte des aspects économiques, environnementaux et sociaux dans la prise de décisions et les pratiques commerciales. Il s'agit d'une approche holistique qui vise à répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins.

Dans le contexte de la gestion des risques industriels, cela signifie prendre en compte les impacts sociaux et environnementaux des activités industrielles, tout en recherchant la viabilité économique à long terme. Cela implique d'adopter des pratiques durables, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de prévenir la pollution, de promouvoir la santé et la sécurité des travailleurs, de respecter les droits des communautés locales et de contribuer au bien-être social.

Les entreprises sont de plus en plus encouragées à adopter une approche proactive, à intégrer la durabilité dans leur stratégie globale et à collaborer avec les parties prenantes pour améliorer continuellement leurs pratiques et leur performance en matière de gestion des risques.

Les approches de gestion des risques industriels axées sur le développement durable mettent l'accent sur la prévention des risques, la réduction des impacts négatifs, la

promotion de l'innovation et de l'efficacité énergétique, ainsi que sur la transparence et la responsabilité sociale des entreprises. Cette approche nous renvoie, entre autre, au concept de l'excellence opérationnelle.

2.2. L'excellence opérationnelle

L'excellence opérationnelle désigne la capacité d'une entreprise à atteindre et maintenir des performances optimales dans l'ensemble de ses opérations. Cela implique d'optimiser les processus, d'augmenter l'efficacité, de réduire les coûts, d'améliorer la qualité, d'innover et de maximiser la valeur ajoutée pour les parties prenantes.

L'excellence opérationnelle industrielle, fait référence à un état d'atteinte d'une efficacité et d'une productivité maximales dans les opérations, les processus et les systèmes d'une organisation. Il s'agit d'une philosophie de gestion et à un ensemble de pratiques visant à optimiser l'efficacité, l'efficacité et la fiabilité des opérations industrielles. Cela implique l'amélioration continue des processus commerciaux, l'élimination du gaspillage et l'optimisation des ressources pour obtenir un avantage concurrentiel sur le marché.

L'excellence opérationnelle ne consiste pas seulement à réduire les coûts, mais également à améliorer la qualité, la satisfaction des clients et l'engagement des employés. Cela implique une culture d'amélioration continue, où chaque employé est encouragé à apporter des idées pour améliorer les processus et les systèmes.



Figure 7: les principes fondamentaux de l'excellence opérationnelle

Quand on cherche l'origine de l'excellence opérationnelle, on trouve que le concept a évolué au fil du temps et qu'il repose sur les contributions de nombreux experts, praticiens et penseurs de la gestion. Il n'y a pas un fondateur unique de l'excellence opérationnelle, mais plutôt une combinaison d'idées et de pratiques qui ont été développées et raffinées par divers contributeurs au fil des décennies. Cependant, certaines approches et méthodologies ont joué un rôle significatif dans le développement de l'excellence opérationnelle. Parmi les plus connues, on peut citer :

Le Lean Management : Le Lean Management est basé sur les principes du système de production de Toyota, connu sous le nom de Toyota Production System (TPS). Il a été développé par Taiichi Ohno et Eiji Toyoda dans les années 1950 et 1960. Le Lean Management met l'accent sur l'élimination des gaspillages, l'amélioration continue des processus, la qualité, la réduction des coûts et l'engagement des employés.

Six Sigma : La méthodologie Six Sigma a été développée par Motorola dans les années 1980 et popularisée par General Electric dans les années 1990. Elle vise à réduire la variation des processus et à améliorer la qualité en utilisant une approche statistique. Le Six Sigma met l'accent sur la mesure et l'analyse des données pour réduire les défauts et atteindre un niveau de performance très élevé.

Total Quality Management (TQM) : Le Total Quality Management est une approche de gestion de la qualité qui met l'accent sur l'engagement de toute l'organisation à atteindre l'excellence. Il a été influencé par les idées de William Edwards Deming et Joseph Juran dans les années 1950 et 1960. Le TQM vise à impliquer tous les membres de l'organisation dans l'amélioration continue, en mettant l'accent sur la satisfaction du client, la gestion par les processus et la prise de décision basée sur les faits.

Il convient de noter que l'excellence opérationnelle est un domaine en constante évolution, et de nouvelles idées et approches continuent d'émerger pour améliorer la performance et l'efficacité des organisations. Par conséquent, il est difficile d'attribuer le concept d'excellence opérationnelle à un seul fondateur.

Les multiples sources contribuant à la philosophie de ce concept se voit à travers la panoplie des principes et techniques qu'il stipule. Certains des principes clés de l'excellence opérationnelle comprennent :

- **Orientation client** : comprendre et répondre aux besoins des clients est essentiel

pour atteindre l'excellence opérationnelle.

- **Amélioration continue** : La poursuite de l'excellence est un processus continu qui nécessite une surveillance, une analyse et une amélioration constantes.
- **Élimination des déchets** : la réduction des déchets dans les processus et les systèmes peut contribuer à rationaliser les opérations et à accroître l'efficacité.
- **Standardisation** : la création de processus standardisés peut aider à éliminer la variabilité et à améliorer la cohérence.
- **Engagement des employés** : Engager et habiliter les employés à apporter des idées et à s'approprier leur travail est essentiel pour atteindre l'excellence opérationnelle.

Techniquement, l'excellence opérationnelle industrielle compte un ensemble de pratiques qui visent à maximiser l'efficacité, à minimiser les déchets et à augmenter la productivité dans la fabrication et d'autres opérations industrielles. Certains des principes clés de l'excellence opérationnelle industrielle comprennent :

- **Amélioration continue** : Ce principe implique d'analyser et d'affiner constamment les processus pour éliminer les gaspillages et les inefficacités.
- **Fabrication au plus juste** : La fabrication au plus juste se concentre sur la réduction des déchets et l'augmentation de l'efficacité en rationalisant les processus et en minimisant les étapes inutiles.
- **Six Sigma** : Six Sigma est une méthodologie basée sur les données pour identifier et éliminer les défauts dans un processus, un produit ou un service.
- **Gestion de la qualité totale (TQM)** : TQM est une approche de gestion qui met l'accent sur l'amélioration continue de la qualité et de la satisfaction du client.
- **Production juste-à-temps (JIT)** : la production JAT consiste à produire uniquement ce qui est nécessaire, quand il le faut, dans la quantité exacte requise et sans gaspillage.
- **Autonomisation des employés** : donner aux employés les moyens de s'approprier leur travail et de prendre des décisions peut accroître l'engagement, la motivation et la créativité.

- **Gestion visuelle** : la gestion visuelle implique l'utilisation d'indices visuels tels que des tableaux, des graphiques et des diagrammes pour surveiller les processus et identifier les domaines à améliorer.
- **Cartographie des flux de valeur** : la cartographie des flux de valeur est un outil utilisé pour visualiser et analyser le flux de matériaux et d'informations tout au long d'un processus de production.
- **Kaizen** : Kaizen est un terme japonais qui signifie « amélioration continue ». Cela implique d'apporter de petites modifications progressives aux processus au fil du temps pour obtenir des améliorations significatives en termes d'efficacité et de productivité

2.3. L'excellence opérationnelle et la gestion des risques

L'excellence opérationnelle joue un rôle clé dans la prévention et la gestion des risques industriels. En adoptant une approche proactive et en cherchant constamment à améliorer leurs opérations, les entreprises peuvent réduire les risques, améliorer la sécurité, renforcer leur résilience et maximiser leur performance globale.

Dans cette approche proactive, les entreprises cherchent à identifier et à évaluer les risques potentiels, à mettre en place des mesures de prévention appropriées et à développer des plans de gestion des risques pour faire face aux situations d'urgence. De plus, l'excellence opérationnelle vise à réduire les risques en identifiant les points faibles, en renforçant les mesures de contrôle et en mettant en place des systèmes de surveillance et d'alerte précoce. Cela peut inclure l'utilisation de technologies avancées, l'automatisation des processus à haut risque, la mise en œuvre de procédures de sécurité strictes et la sensibilisation des employés à la sécurité.

Grace à l'excellence opérationnelle qui repose sur le principe de l'amélioration continue, les entreprises s'efforcent constamment de trouver des moyens d'optimiser leurs opérations. Cela inclut la recherche de nouvelles technologies, de meilleures pratiques, l'implémentation de normes de sécurité et de qualité élevées, ainsi que la formation et l'implication des employés.

Un autre aspect important à souligner : la Culture de sécurité. En effet, l'excellence opérationnelle favorise le développement d'une culture de sécurité au sein de

l'organisation, où la sécurité est considérée comme une priorité absolue et où tous les employés sont responsables de leur propre sécurité et de celle de leurs collègues. Cela se traduit par des politiques et des pratiques qui encouragent la communication, la formation, la transparence, la responsabilité et la recherche constante de l'amélioration de la sécurité.

3. LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

3.1. le DD dans le monde

Le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs », citation de Mme Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre norvégien (1987). Il s'agit d'une approche holistique qui intègre les dimensions économique, environnementale et sociale dans la prise de décisions et les actions entreprises à tous les niveaux de la société.

Le développement durable repose sur trois piliers interdépendants :

- **Dimension économique** : Le développement durable reconnaît l'importance de l'économie dans la création de richesse et la satisfaction des besoins humains. Cela implique de promouvoir une croissance économique durable, de favoriser l'innovation, de créer des emplois décents et de veiller à une répartition équitable des bénéfices économiques. Il s'agit de développer une économie prospère et efficiente qui contribue à améliorer le bien-être des individus et des communautés.
- **Dimension environnementale** : Le développement durable prend en compte les limites et la capacité de la planète à soutenir les activités humaines. Cela implique de préserver et de protéger les ressources naturelles, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de prévenir la pollution, de promouvoir l'utilisation durable des ressources, la biodiversité et la préservation des écosystèmes. L'objectif est de minimiser l'impact des activités humaines sur l'environnement et de préserver les ressources naturelles pour les générations futures.
- **Dimension sociale** : Le développement durable met l'accent sur la justice

sociale, l'équité, la lutte contre la pauvreté et la promotion de la qualité de vie pour tous. Cela inclut le respect des droits de l'homme, l'élimination de la discrimination, la promotion de l'éducation, de la santé, de l'égalité des genres, de la participation citoyenne et de la cohésion sociale. L'objectif est de créer des sociétés inclusives et équitables où chacun a la possibilité de s'épanouir et de participer pleinement à la vie sociale, économique et politique.

Le développement durable nécessite une approche intégrée qui tient compte des interactions complexes entre les aspects économiques, environnementaux et sociaux. Il encourage la collaboration entre les gouvernements, les entreprises, la société civile et les individus pour trouver des solutions durables aux défis mondiaux tels que le changement climatique, la pauvreté, la dégradation de l'environnement et les inégalités.

3.1.1. les Objectifs du Développement Durable ODD

Dans ce sens, L'Agenda 2030 est un plan d'action mondial pour le développement durable adopté par les Nations Unies en septembre 2015. Il a été conçu pour orienter les efforts des pays membres de l'ONU vers un avenir plus durable sur les plans économique, social et environnemental. L'Agenda 2030 est composé de 17 objectifs de développement durable (ODD) et de 169 cibles correspondantes, qui couvrent un large éventail de défis mondiaux.



Les objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 comprennent :

- Pas de pauvreté : Éliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde.
- Faim zéro : Assurer la sécurité alimentaire, une bonne nutrition et promouvoir une agriculture durable.
- Bonne santé et bien-être : Assurer une vie saine et promouvoir le bien-être pour tous à tous les âges.
- Éducation de qualité : Assurer une éducation inclusive, équitable et de qualité pour tous.
- Égalité des sexes : Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles.
- Eau propre et assainissement : Garantir la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement.
- Énergie propre et d'un coût abordable : Accéder à une énergie propre, fiable, durable et d'un coût abordable pour tous.
- Travail décent et croissance économique : Promouvoir une croissance économique soutenue, inclusive et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous.
- Industrie, innovation et infrastructure : Construire une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable et soutenir l'innovation.
- Inégalités réduites : Réduire les inégalités dans les pays et entre les pays.
- Villes et communautés durables : Rendre les villes et les établissements humains inclusifs, sûrs, résilients et durables.
- Consommation et production responsables : Assurer des modes de consommation et de production durables.
- Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques : Prendre des mesures urgentes pour lutter contre les changements climatiques et leurs

répercussions.

- Vie aquatique : Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable.
- Vie terrestre : Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en promouvant une gestion durable des terres.
- Paix, justice et institutions efficaces : Promouvoir l'accès à la justice pour tous et mettre en place des institutions efficaces, responsables et inclusives à tous les niveaux.
- Partenariats pour la réalisation des objectifs : Renforcer les moyens de mise en œuvre et revitaliser le partenariat mondial pour le développement durable.

L'Agenda 2030 et les objectifs de développement durable sont un appel à l'action pour tous les pays, les organisations et les individus afin de travailler ensemble pour atteindre un développement durable et équilibré, en prenant en compte les dimensions économiques, sociales et environnementales.

3.1.2. Les outils de déclinaison des ODD

Il existe plusieurs outils et approches pour décliner et mettre en œuvre les objectifs de développement durable (ODD) de l'Agenda 2030. Voici quelques-uns des principaux outils utilisés :

- **Planification stratégique** : La planification stratégique consiste à aligner les objectifs de développement durable avec les objectifs et les plans stratégiques d'une organisation, qu'il s'agisse d'un gouvernement, d'une entreprise ou d'une organisation non gouvernementale. Cela implique d'identifier les ODD pertinents pour l'organisation, d'établir des objectifs spécifiques, de définir des actions concrètes et de mettre en place un suivi et une évaluation régulière pour mesurer les progrès.
- **Cartographie des parties prenantes** : La cartographie des parties prenantes permet d'identifier et d'engager les différentes parties prenantes qui peuvent contribuer à la réalisation des ODD. Cela inclut les gouvernements, les entreprises,

la société civile, les organisations de la jeunesse, les groupes de femmes, les organisations de recherche, etc. La cartographie des parties prenantes permet de comprendre leurs intérêts, leurs capacités et leurs contributions potentielles, et de mettre en place des partenariats et des collaborations pour atteindre les ODD.

- **Analyse de l'impact des ODD** : L'analyse de l'impact des ODD consiste à évaluer l'impact positif ou négatif des activités d'une organisation sur les ODD. Cela peut être réalisé à travers une évaluation approfondie des pratiques actuelles, des politiques, des projets et des processus, afin d'identifier les opportunités d'amélioration et de contribution aux ODD. L'analyse de l'impact permet également de prioriser les ODD les plus pertinents pour l'organisation.
- **Intégration des ODD dans les processus de décision** : Il est essentiel d'intégrer les ODD dans les processus de décision, qu'il s'agisse de la planification des projets, de l'évaluation des politiques, de l'allocation des ressources ou de la gestion des risques. Cela peut être réalisé en utilisant des critères d'évaluation basés sur les ODD, en intégrant les ODD dans les indicateurs de performance, en incluant des considérations de durabilité dans les analyses coûts-avantages, et en évaluant régulièrement l'impact des décisions prises sur les ODD.
- **Reporting et communication** : Le reporting et la communication sont des outils clés pour rendre compte des progrès réalisés dans la mise en œuvre des ODD. Les organisations peuvent établir des rapports réguliers sur leurs actions, leurs résultats et leurs impacts en relation avec les ODD. Cela permet de maintenir la transparence, d'encourager la responsabilité et d'engager les parties prenantes. Les rapports peuvent également contribuer à l'apprentissage mutuel et à l'échange de bonnes pratiques.

Ces outils sont complémentaires et peuvent être adaptés en fonction des besoins et du contexte spécifique de chaque organisation. L'objectif est de s'assurer que les ODD sont intégrés dans les processus décisionnels, opérationnels et stratégiques des entreprises.

3.1.3. La Responsabilité Sociétale de l'entreprise

On souligne une autre tendance, émergente au Maroc, mais en plein essor à l'échelle

internationale, qui est une expression d'engagement sérieux et concret des entreprises dans le développement durable, à savoir, La Responsabilité Sociétale de l'Entreprise.

La responsabilité sociétale des entreprises se définit comme le rôle que doit jouer une entreprise dans la société. Le concept délimite la nature des obligations sociales, politiques et éthiques à remplir. Ces dernières vont au-delà des exigences réglementaires et conventionnelles imposées à toutes les directions.

En s'engageant de manière volontaire dans une démarche RSE, l'organisation prend non seulement en considération ses intérêts, mais aussi ceux de la société dans laquelle elle évolue. Ce processus est le fruit d'une étroite collaboration entre l'entreprise et ses parties prenantes (clients, sous-traitants, fournisseurs, etc.). L'objectif étant de concilier les attentes de l'ensemble des acteurs.

Selon la norme ISO 26 000, l'organisation est responsable de l'impact de ses décisions et de son activité sur la société et sur l'environnement. Elle contribue au développement durable en intégrant ses nouvelles préoccupations à l'ensemble de sa stratégie, le tout en adoptant un comportement éthique et transparent.

Le concept de développement durable renvoie à un projet écologique global ayant pour objectif l'équité intra et inter générationnelle de l'accès aux ressources naturelles. Il entend apporter des solutions à la crise écologique et sociale mondiale.

Adopté en 2015 par l'Assemblée générale des Nations unies au cours du Sommet sur le développement durable, l'Agenda 2030 fixe un plan d'action pour le développement durable d'ici 2030. Les gouvernements se sont engagés autour de 17 objectifs interdépendants et universels. Parmi eux, égalité des sexes, eau propre et assainissement, villes et communautés durables et vie terrestre.

Néanmoins, il est important de souligner que les notions de RSE et de développement ne couvrent pas exactement le même champ d'action. Elles ont trois grandes différences:

- L'objet de la responsabilité sociétale des entreprises est la société, celui du développement durable est l'environnement et la préservation des ressources naturelles (air, eau et terre).

- Les objectifs de développement durable (ODD) concernent avant tout les États membres de l'ONU. Ils disposent d'un cadre temporel défini, à l'horizon 2030, et illustrent la notion de « droit commun ». Les États sont incités à mettre en œuvre des stratégies et politiques au profit du développement durable. La RSE s'adresse quant à elle exclusivement aux organisations. Elle entend mettre en exergue leur responsabilité à l'égard de l'impact de leur activité sur la société.
- L'échelle n'est pas la même. La RSE adapte les ODD au monde de l'entreprise et à ses spécificités. Le développement durable touche l'ensemble des sphères de la société.

Toutefois, le développement durable s'illustre dans les entreprises par le biais de la RSE et des actions concrètes mises en œuvre pour répondre à ses grands principes. Les enjeux sociaux, environnementaux, économiques et de gouvernance sont propulsés au cœur de leur stratégie et de leur gestion.

Les États ne sont pas les seuls à avoir leur rôle à jouer dans l'atteinte des objectifs de développement durable. Du fait de leurs politiques RSE, les entreprises sont des acteurs clés pour répondre à l'ensemble des enjeux liés au développement durable et transformer le modèle économique en profondeur.

3.2. le DD au Maroc

Le Maroc s'est doté progressivement des instruments juridiques et institutionnelles pour concrétiser son engagement dans le développement durable. Impulsée par une volonté royale, la Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) est venue concrétiser l'engagement.

La figure suivante retrace les étapes successives traduisant cet engagement.



Figure 8: Les dates et les étapes d'engagement du Maroc dans le DD

Sur le plan juridique, le Maroc s'est doté d'un ensemble de lois permettant la concrétisation de son engagement, dont entre autres :

- Loi Cadre 99-12 portant Charte Nationale de l'Environnement et du Développement Durable, et de laquelle émane la Stratégie Nationale du Développement Durable 2016- 2030.
- Loi 12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement (EIE).
- Loi 81-12 relative au littoral.
- Loi 36-15 sur l'eau.
- Loi N°49-17 relative à l'évaluation environnementale stratégique : outil préventif qui peut assurer un équilibre entre l'investissement, la protection de l'environnement et la prise en considération de la durabilité

En plus du cadre juridique, l'engagement du pays s'est traduit par la mise en place de plusieurs initiatives et politiques visant à intégrer les dimensions économique, sociale et environnementale dans son développement national. Voici quelques aspects importants du développement durable au Maroc :

- **Stratégie de développement durable** : Le Maroc a adopté une stratégie nationale pour le développement durable, appelée la Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD). Cette stratégie vise à guider les politiques publiques et les actions pour assurer un développement durable à long terme, en intégrant les ODD de l'Agenda 2030. La SNDD met l'accent sur des secteurs clés tels que l'énergie, l'eau, l'agriculture, les transports, l'industrie, le tourisme et la gestion des déchets.
- **Énergies renouvelables** : Le Maroc est engagé dans la transition vers les énergies renouvelables. Il a lancé plusieurs projets d'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique pour réduire sa dépendance aux combustibles fossiles et promouvoir une production d'énergie propre et durable. Par exemple, la centrale solaire de Ouarzazate, connue sous le nom de "Noor", est l'une des plus grandes centrales solaires concentrées au monde.
- **Agriculture durable** : L'agriculture joue un rôle essentiel dans l'économie marocaine. Le pays met en œuvre des initiatives pour promouvoir une

agriculture durable, notamment en encourageant l'utilisation de techniques agricoles durables, la conservation des ressources en eau, la lutte contre la désertification, et en soutenant les agriculteurs dans l'adoption de pratiques respectueuses de l'environnement.

- **Gestion des ressources en eau** : Le Maroc est confronté à des défis liés à la rareté de l'eau. Le pays a mis en place des politiques et des projets visant à améliorer la gestion des ressources en eau, tels que la construction de barrages, l'irrigation efficiente, la réutilisation des eaux usées traitées, et la sensibilisation à l'économie d'eau.
- **Protection de l'environnement** : Le Maroc accorde une attention croissante à la protection de l'environnement et à la préservation de ses écosystèmes naturels. Des initiatives sont mises en place pour la gestion des aires protégées, la lutte contre la pollution, la préservation de la biodiversité, et la promotion du tourisme durable.
- **Planification urbaine durable** : Les villes marocaines sont confrontées à des défis de croissance urbaine rapide. Le pays met en œuvre des stratégies de planification urbaine durable pour promouvoir des villes plus inclusives, résilientes, compactes et écologiques. Des initiatives de transport durable, de gestion des déchets et de promotion des espaces verts sont également développées.

Le pays continue de renforcer ses efforts pour intégrer les dimensions économique, sociale et environnementale dans ses politiques et pratiques, en alignant ses actions sur les objectifs de développement durable de l'Agenda 2030.

3.2.1. La stratégie nationale de Développement Durable

La stratégie nationale de DD (2017) a pour mission accélérer la transition vers une économie verte et mettre en œuvre les engagements internationaux du pays dans le cadre des ODD des Nations Unies à l'horizon de 2030. La SNDD se veut un document stratégique de référence consolidant l'ensemble des politiques publiques qui concourent à atteindre un développement durable.

La vision proposée est l'aboutissement d'un diagnostic approfondi, et repose sur l'intégration des 4 piliers fondamentaux du développement durable ; notamment économique, social, environnemental et culturel.¹



Figure 9: les 4 piliers de la SNDD

- **Le pilier économique:** sans économie saine et performante aucun développement durable n'est possible; ce pilier alors, est la locomotive de la vision de la SNDD. Malgré les stratégies et les politiques sectorielles de l'État qui, soutiennent le développement économique du pays, on trouve des freins à la compétitivité, identifiés durant la phase de diagnostic. Les résultats de ce diagnostic indiquent la possibilité d'une réelle économie de l'environnement à travers la mise en œuvre d'une économie circulaire, ou encore de l'industrialisation verte.
- Le pilier social doit être renforcé, et notamment les politiques liées à la santé qui, malgré une amélioration en termes d'indicateurs, restent très en deçà des objectifs visés et nuisent au développement humain. L'accès pour tous

¹ Source: le résumé exécutif de la SNDD

à une éducation gratuite de qualité est également un défi à relever pour ne pas accentuer les disparités. Enfin, la lutte contre la pauvreté, et le principe de solidarité (territoriale en particulier) doivent réellement être mis en œuvre, car les populations les plus démunies sont souvent responsables de la protection de nos ressources. Les populations rurales de nos zones de montagne sont les garants des réserves en eau ou encore forestières et les populations reculées dans les zones oasiennes contribuent à la lutte contre la désertification. Pourtant, dans ces deux cas, elles vivent bien souvent en dessous de la moyenne nationale pour l'ensemble des indicateurs socio-économiques. Une redistribution plus équitable, notamment en prenant en compte la notion de Paiement pour les Services Eco systémiques est une alternative possible.

- Le pilier environnemental, s'est avéré comme le parent pauvre du développement lors du diagnostic. Les actions environnementales sont essentiellement curatives et répondent à des urgences, mais l'environnement n'est pas encore considéré comme une source de croissance durable. Cette stratégie vise à renforcer la prise en compte des atteintes environnementales dans les politiques publiques pour découpler croissance économique de la pression sur les ressources, mais également à créer des emplois verts durables dans les métiers liés à l'environnement.
- Enfin, la prise en compte du pilier culturel, permet de définir une stratégie basée sur les spécificités du Maroc. Ainsi, avec un enjeu dédié aux espaces sensibles spécifiques (Oasis, Littoral, Zones de Montagne), l'intégration de l'artisanat comme composante de l'économie verte et la promotion et la valorisation de la culture, la stratégie a veillé à opérationnaliser ce pilier.

Les principes de la SNDD

Une Stratégie Nationale de Développement durable devait répondre à un certain nombre de principes directeurs, pour assurer une cohérence dans sa conception. Ainsi, les principes retenus pour élaborer cette stratégie sont représentés sur la figure suivante.

	<p>La stratégie est en ligne avec les bonnes pratiques internationales, et reprend à minima les défis sur lesquels le Royaume s'est engagé en matière de développement durable, à savoir la lutte contre les changements climatiques, la lutte contre la désertification ainsi que la protection de la biodiversité.</p>	<p>01 Conformité internationale</p>
	<p>La stratégie est en ligne avec les principes de la Loi-Cadre 09-12 portant charte nationale de l'environnement et du développement durable, à savoir : l'intégration, la territorialité, la solidarité, la précaution, la prévention, la responsabilité et la participation.</p>	<p>02 Conformité avec les principes de la loi-cadre 09-12</p>
	<p>La Stratégie Nationale de Développement Durable est conçue comme un processus continu d'engagement des différentes parties prenantes à atteindre des objectifs communs qui contribuent à répondre à des enjeux clés en matière de développement durable.</p>	<p>03 Engagement</p>
	<p>La stratégie se voit opérationnelle en s'appuyant sur les stratégies, les plans et les programmes en cours de mise en œuvre. La stratégie n'est en aucun cas une rupture avec les choix de développement opérés par le Royaume. La stratégie ne base sur des mesures concrètes avec des indicateurs de suivi et / ou de résultats.</p>	<p>04 Opérationnelle</p>

Figure 10: Les 4 principes de la SNDD

Pour donner corps à cette vision, 7 grands enjeux ont été identifiés. Chaque enjeu est par la suite décliné en axes stratégiques qui sont en fait de grands domaines d'actions, avec des objectifs à atteindre et des mesures et actions à déployer.



Figure 11: les 7 enjeux de la SNDD

Les programmes d'appui relatifs au développement Durable

Programme pour l'innovation dans les technologies propres et l'emploi vert

(CLEANTECH MAROC)

Le Ministère délégué chargé de l'Environnement (MdE) avec l'appui du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) et l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONU/DI), a mis en place le Programme pour l'Innovation dans les Technologies Propres et l'Emploi Vert (Cleantech Maroc).

Ce programme destiné aux auto-entrepreneurs, start-up, TPE et PME, s'inscrit dans le cadre du Global Cleantech Innovation Program (GCIP).

- La mise en place d'un programme d'accélération et d'accompagnement personnalisé des projets, en relation avec:
 - » La valorisation des déchets ;
 - » L'utilisation rationnelle de l'eau,
 - » L'efficacité énergétique & énergies renouvelables
 - » Le bâtiment vert.
- De plus, Agence Marocaine de Efficacité Energétique (AMEE) développe et assure les programmes nationaux pour l'efficacité énergétique dans les différents secteurs:
 - » Bâtiment
 - » Transport
 - » Industrie
 - » Agriculture et pêche
 - » Villes et Eclairage public

Le Maroc a bénéficié également de différents programmes d'appui, entre autres:

- Le Programme d'Appui à la Compétitivité et à la Croissance verte (PACC/ 105 M€ / 2016-2022) offre un appui budgétaire et technique au Maroc, dans une perspective de développement durable. Le soutien porte sur la promotion de la Stratégie Nationale de Développement Durable, notamment via la Stratégie

Nationale de Valorisation des Déchets (SNRVD) et la Stratégie d'Efficacité Énergétique (SEE).

- D'autres programmes d'appui sectoriels financés par l'UE, soutiennent la Stratégie de Développement Durable du Maroc : le Pilier 2 du Plan Maroc Vert, la stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement (MANE), l'Initiative Nationale de Développement Humain (INDH) et le Plan Halieutis.
- Sur le plan régional, l'UE soutient l'initiative SwitchedMed qui accompagne les industries du sud de la Méditerranée dans leur transition vers une économie circulaire; ainsi que les programmes régionaux WES (Water & Environment Support),

3.2.2. L'Évaluation de la SNDD

Selon le ministère de la transition énergétique et du développement durable- Département du Développement Durable, une évaluation de la SNDD a été réalisée afin d'intégration des préconisations du Nouveau Modèle de Développement (NMD), et du référentiel mondial de l'Agenda 2030.

Les conclusions de cette évaluation constituent les orientations de la feuille de route pour le processus de refonte de ladite Stratégie qui sera mené dans un cadre élargi de concertation avec toutes les parties prenantes. Parmi les principales conclusions, on note la nécessité d'intégrer les nouvelles données, dont une approche systémique avec des objectifs transverses de neutralité de carbon et développement de la finance verte et durable.

Moult points positifs sont relevé suite à l'évaluation de La SNDD, notamment, la dynamique créée favorisant l'adhésion de l'Administration aux enjeux de la SNDD et du DD en général. D'une autre part, la gouvernance instaurée (CNDD, Comité Sectoriel) permet un échange fluide entre les Départements. La mise en place d'une plateforme en ligne a permis plus d'efficience dans le suivi de la mise en œuvre. De plus, il s'est avéré que La SNDD couvre une large partie des objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 que plusieurs réalisations ont été enregistrées à travers les Plan d'Action de DD (PADD) sectoriels et le Pacte d'Exemplarité Administratif (PEA)

Cependant, un nombre de limitations de cette première version de la SNDD sont à souligné, à savoir:

- Le suivi est focalisé sur les actions réalisées, plutôt que sur l'atteinte des objectifs escomptés;
- La SNDD poursuit un nombre important d'objectifs, dont une large partie n'est pas adossée à des indicateurs mesurés (cibles, de valeurs de référence)
- Le cadre de gouvernance de la SNDD au niveau territorial reste à opérationnaliser
- Certaines mesures de la SNDD, basées sur d'anciennes stratégies sectorielles 2020, sont devenues caduques;
- Une convergence est nécessaire entre les cadres de la SNDD et les ODD afin de délimiter les objectifs à poursuivre.

CONCLUSION

Dans l'ensemble, les tendances émergentes en matière de durabilité et d'excellence opérationnelle industrielle sont axées sur la promotion de la durabilité, de l'efficacité des ressources et de la responsabilité sociale tout au long de la chaîne de valeur. Les entreprises qui adoptent ces tendances peuvent améliorer leur impact environnemental et social tout en améliorant leur efficacité opérationnelle et leur compétitivité.

En fait, l'intégration de la durabilité dans les opérations industrielles présente de nombreux avantages, en voici quelques-uns :

- Économies de coûts : en réduisant la consommation d'énergie et de ressources, en minimisant les déchets et les émissions et en optimisant les processus, les organisations peuvent réaliser d'importantes économies de coûts. Les initiatives de développement durable peuvent aider les organisations à réduire les coûts d'exploitation, à améliorer l'efficacité et à minimiser les déchets, ce qui peut conduire à une rentabilité et une compétitivité accrues.
- Réduction de l'impact environnemental : l'intégration de la durabilité dans les

opérations industrielles peut également aider les organisations à minimiser leur impact environnemental. En réduisant les émissions de gaz à effet de serre, la pollution et les déchets, les organisations peuvent contribuer à atténuer les impacts du changement climatique et à préserver les ressources naturelles pour les générations futures.

- Amélioration de la réputation : les organisations qui accordent la priorité à la durabilité peuvent également améliorer leur réputation et instaurer la confiance avec les parties prenantes. En démontrant un engagement envers la responsabilité environnementale et sociale, les organisations peuvent se différencier de leurs concurrents, attirer et fidéliser des clients et améliorer leur position dans la communauté.
- Conformité réglementaire : les initiatives de développement durable peuvent aider les organisations à se conformer aux réglementations environnementales et à éviter les amendes et les pénalités. En adoptant des pratiques durables, les organisations peuvent garantir la conformité aux lois et réglementations environnementales et minimiser le risque de non-conformité.
- Atténuation des risques : Enfin, l'intégration de la durabilité dans les opérations industrielles peut aider les organisations à atténuer les risques. En identifiant et en traitant les risques environnementaux et sociaux, les organisations peuvent réduire leur exposition aux risques de réputation, financiers et juridiques, et améliorer leur résilience face aux défis futurs.

En effet, le développement durable est un engagement planétaire qui s'est imposé à travers les stratégies internationales, les plans d'actions, et leurs déclinaisons à l'échelle territoriale.

Les pays traduisent leur engagement dans le DD à travers leur cadre juridique et institutionnel, le sérieux de leur stratégie nationale et les plans d'action correspondants.

Les organisations, les industries s'engagent dans le DD à travers l'excellence opérationnelle qui permet l'atteinte des objectifs durable; et à travers leur responsabilité sociétale.

Il est important de mentionner, que dans notre contexte national, à la date de rédaction du présent document, la refonte de SNDD est toujours en cours. On est dans

l'attente d'une version améliorée de la stratégie nationale, plus cohérente, traduisant les principaux ODD, avec des indicateurs de mesures des performances adéquates.

Certes, A travers la dernière partie de ce document, on a soulevé "Le développement durable" en tant que concept, que stratégie mondiale déclinée en objectifs internationaux, et en tant que stratégie nationale qui concerne le gouvernement, les institutions et les entreprises.

Toutefois, le développement durable nous concerne tous. Chaque individu, de sa position, a un rôle à jouer pour concrétiser ce concept. Des lors, des questions s'imposent, auxquelles chacun doit répondre:

- Quel niveau de conscience nous avons à l'égard du développement durable
- Quels rôles nous avons?
- Sur quelles pistes de Recherche & Développement chacun pourra intervenir?



المدرسة المغربية للهندسة
ECOLE MAROCAINE D'INGENIERIE



THEMA 2023

**GRANDES PRATIQUES
DU MANAGEMENT INDUSTRIEL
ACTUELLES ET FUTURES POUR
L'EXCELLENCE OPÉRATIONNELLE**