

Les méthodes de prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT industriel



Réalisé par : Ilyes BENNI

Directrice de mémoire : Elena KORNYSHOVA

Membre du jury : Rebecca DENECKERE

Année Universitaire : 2021 - 2022

REMERCIEMENTS

Bien que ces remerciements ouvrent ce manuscrit, ce travail marque la fin d'un long parcours pour lequel j'aimerais exprimer ma gratitude.

Ces remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué à cet aboutissement. En tout premier lieu, je remercie ma directrice de mémoire, madame Elena KORNYSHOVA qui a été d'un soutien indispensable, ce travail est le fruit d'un effort commun, et madame KORNYSHOVA a toujours su être de bon conseil, efficace quant à son rôle de directrice de mémoire, présente à tout moment en s'investissant de manière sérieuse et enthousiaste dans ce projet, et c'est pour cela que je tiens à lui exprimer mes profonds remerciements.

Je souhaite adresser mes remerciements à notre responsable de la MIAGE S2I, ainsi qu'à tout le corps professoral et administratif de l'université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, pour la remarquable qualité de l'enseignement, de la pédagogie, ainsi que de l'investissement dans le bon déroulement du parcours des étudiants.

Je souhaite remercier ma famille pour leur soutien, et cela tout au long de ma vie, pour les enseignements, les valeurs ainsi que les moyens mis à disposition pour que je puisse en arriver là aujourd'hui. Vous avez nourri et soutenu mes ambitions, et je ne vous remercierais jamais assez.

Enfin, je remercie mes camarades de promotions avec lesquels j'ai pu échanger et qui m'ont aidé, mes amis et toutes les personnes qui ont pu contribuer de près de loin à ce projet. Merci.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	1
table des matières	2
Table des tableaux et figures	4
Liste des sigles	5
Contexte	7
Problematique	8
Chapitre 1 Background Théorique	10
1.1 Industrie 4.0 et plus :	10
1.2 Smart manufacturing :	11
1.3 Internet des objet industriel (Industrial Internet of Things) :	13
1.3.1 Internet of Things vs IIoT industriel :	14
1.4 La prise de décision en entreprise :	15
1.4.1 Les systèmes d'aide à la décision (Decision Support System) :	16
Chapitre 2 Protocole de recherche	19
2.1 Questions de recherche :	19
2.2 Méthodologie :	20
2.3 Rappel sur la définition de la méthodologie du SLR (Revue systématique de la littérature) :	20
2.4 Conduite de la recherche :	21
2.4.1 Recherche de mots clés et définition de la requête de recherche :	21
2.4.2 Critères de recherche :	24
2.4.3 Sources de recherche :	25
2.4.4 Résultats obtenues à partir de sources :	25
Chapitre 3 Analyse des résultats :	37

3.1	<i>Panorama des articles par rapport à l'usage :</i>	37
3.1.1	Analyse par rapport au critère des processus industriels visés :	37
3.1.2	Analyse par rapport au critère du niveau de décision :	41
3.1.3	Analyse par rapport au secteur industriel visé :	43
3.2	<i>Panorama des articles par rapport à la structure IIoT Industriel :</i>	44
3.2.1	Analyse par rapport aux systèmes IIoT Industriel :	45
3.2.2	Analyse par rapport aux méthodes et technologies utilisées pour l'extraction de connaissance :	46
3.2.3	Analyse par rapport aux études de cas effectuées :	50
3.2.4	Analyse de ces résultats :	51
3.3	<i>Panorama des articles par rapport à la méthode de prise de décision :</i>	52
3.3.1	Analyse des articles selon les méthodes et techniques mis en œuvre pour la prise de décision :	53
-	Méthodes basées sur le data mining et le big data :	54
3.3.2	Analyse des articles selon le type de la solution de prise de décision :	59
3.3.3	Analyse des articles selon le type de traitement de données :	61
3.4	<i>Panorama des articles par rapport à l'année de publication :</i>	62
Chapitre 4	Travaux antérieurs	65
4.1	<i>Les revues de littérature systématiques antérieures :</i>	65
Chapitre 5	Discussion	66
5.1	<i>Résultats de notre revue de la littérature :</i>	66
5.2	<i>Comparaison avec les études antérieures et la valeur ajoutée de notre travail :</i>	71
Conclusion		73
limites :		75
Perspectives :		75
Références bibliographiques		77
Résumé		82

TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1 Illustration des groupes de technologie de l'industrie 4.0 par (Danjou, Rivest, et Pellerin)	11
Figure 2 Les composants d'un système d'Aide à la Décision) par (Walsh).....	16
Figure 4 Vue sur le graphe de la recherche sur ScienceDirect avec l'outil VOSviewer	22
Figure 5 vue sur le graphe résultant de la base de données de ScienceDirect (Relations avec le mot "Industrial Internet of things")	23
Figure 6 Schéma du processus suivi pour le choix des articles	26
Figure 7 Classification les fonctions industrielles visées.....	38
Figure 8 Proportions des articles par fonctions industrielles visées.....	38
Figure 9 proportions des articles selon le niveau de décision	42
Figure 10 Proportions des articles par rapport aux secteurs industriels	43
Figure 11 Les couches d'une solution de prise de décision dans un système basés sur l'IoT industriel.....	44
Figure 12 Proportions des articles par type d'étude de cas.....	51
Figure 13 Proportions des articles qui spécifient ou non les méthodes, techniques ou outils utilisés pour le système IoT Industriel et extraction de connaissance.....	52
Figure 14 Nombre d'articles par méthode utilisée	53
Figure 15 Nombre de publications sur notre sujet sur ces dernières années (Source : Lens.org)..	62
Figure 16 Le nombres d'articles visant chaque domaine d'application par rapport à l'année de publication.....	63
Figure 17 Le nombres d'articles proposant chaque type de solution pour la prise de décision par rapport à l'année de publication.....	64

LISTE DES SIGLES

IoT	Internet of Things
IdO	Internet des Objets
IIoT	Industrial Internet of Things (i.e. Internet industrielle des objets)
IoMfgT	Internet of Manufacturing Things
DSS	Decision Support System (i.e. Système d'aide à la décision)
DM	Decision Making (i.e. prise de décision)
IA	Intelligence Artificielle
ML	Machine Learning
TOPSIS	Technique de l'Ordre de Préférence par Similitude avec la Solution Idéale
SAW	Simple Additive Weighting
BI	Business intelligence
DNN	Deep Neural Network
BP NN	Back Propagation Neural Network
SVM	Support-Vector Machine
GAN-C	Generative Adversarial Networks- Continuous

.NET RAD	Rapide Application Development .NET
AHP	Analytic Hierarchy process (i.e. méthode de hiérarchie multicritère)
SM	Smart manufacturing (i.e. fabrication intelligente)
SLR	Systematic Literature Review (i.e. Revue Systématique de la Littérature)
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
LoRaWAN	Low power (Range) Wide Area Network

INTRODUCTION

L'industrie a évolué, évolue, et évoluera encore, tant que l'humain trouvera des moyens pour mieux s'adapter à son environnement et l'asservir pour son bien-être. De la découverte du feu, à l'apprentissage d'une machine pour répliquer le travail de l'Homme à la perfection, cette évolution s'étale sur toute l'histoire de l'humanité, un long chemin d'évolution dans plusieurs domaines, se multiplie au fur et à mesure de la découverte de nouvelles méthodes, créant en parallèle de nouveaux besoins. Il serait inutile de chercher à dénombrer le nombre de secteurs composant l'industrie qu'a créée l'humain, mais ce que nous pouvons visualiser, c'est son évolution.

Nous parlons généralement d'ère industrielle, qui sont au nombre de quatre, et dernièrement nous parlons d'une cinquième qui reprend la composante humaine dans nos systèmes industriels introduisant un concept principal qui est la durabilité ou « Sustainability ». D'un point de vue technologique ou encore méthodologique, l'industrie est un vaste océan, ce qui va être abordé dans ce travail est un concept pivot, la prise de décision en industrie moderne. La structure qui sera prise en compte est un pilier technologique de l'industrie 4.0 « l'Internet industriels Des Objets » ou plus connu dans sa dénomination en anglais « Industrial Internet of Things » ou « IIoT ».

CONTEXTE

Une évolution rapide engendre couramment une complexité accrue des systèmes. Les questions de prise de décision augmentent rapidement en complexité dans un environnement basé sur les principes de l'industrie 4.0 avec l'apparition de plusieurs facteurs et paramètres à prendre en compte. La prise de décision peut intervenir dans plusieurs problématiques en industrie, pour des questions de fiabilité des systèmes qui est un facteur influençant la prise de décision de manière directe comme expliqué dans le travail de (Hoffmann Souza et al. 2020), la prise de décision peut aussi intervenir dans des questions de contrôle de la consommation énergétique. De la même manière que la prise de décision est omniprésente dans la vie de chaque personne, elle l'est en industrie, intervenant dans d'innombrables problématiques, avec les exemples cités nous pouvons voir que la prise de décision n'est pas qu'une question d'optimisation de processus de production, qui représente la majeure partie des travaux fait sur le sujet.

Cet aspect de prise de décision dans l'industrie moderne s'est étendu à plusieurs axes d'amélioration des systèmes industriels, et ainsi croisant le chemin de plusieurs méthodes et technologies propres à l'industrie 4.0.

PROBLEMATIQUE

Plusieurs méthodes interviennent dans cette tâche dite de prise de décision en industrie, Méthodes d'optimisations heuristique, science de la donnée, ou encore des piliers de l'industrie 4.0 comme le Machine Learning, l'intelligence artificielle, la simulation ou les systèmes cyber physiques, tout cela représente l'immense place que prend la prise de décision dans les processus industriels divers.

La technologie qui nous intéresse et qui représente une nouvelle structure portant plusieurs systèmes industriels modernes est l'internet industrielle des objets ou « IoT industriel », et là plusieurs interrogations pourraient se poser, avec plusieurs travaux qui parlent de la prise de décision dans un système basé sur l'IoT industriel en se focalisant sur une ou un groupe de techniques précises, ou sur des secteurs ou domaine d'applications précis, mais la question qu'on est en droit de se poser est comme se fait de façon générales la prise de décision dans l'IoT industrielle.

L'objectif de ce travail est de répondre à la problématique que nous pouvons résumé en certaines questions « Comment se fait la prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT Industriel ? quelles sont les méthodes ? Dans quel contexte ? Et comment intégrer ce types de solutions de prise de décision dans la structure d'une entreprise ? »

Notre but est de présenter une vue d'ensemble sur le sujet de la prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT industriel, en réalisant une revue systématique de la littérature ayant comme objectif principale de chercher à définir les différentes méthodes de prise de décision dans ce contexte, mais aussi de comprendre la structure industrielle portant ce genre de système, les secteurs dans lesquels nous pouvons retrouver cette approche de la prise de décision, le périmètre des décisions prise par ces systèmes de prise de décision, les domaines d'applications visés, et plusieurs informations pour pouvoir avoir une vue d'ensemble sur le sujet accompagné d'une définition plus détaillée de ces méthode de prise de décision.

Ce travail se base sur les différentes définitions, approches et méthodes proposées par la communauté scientifique sur ce sujet de recherche, et a pour but de rassembler toutes ces informations pour pouvoir constituer une fenêtre qui nous permet de voir les avancées faites sur ce sujet de manière

globale. Une subtilité est que ce travail s'intéresse aux applications de l'IoT industriel dans un périmètre proche des activités internes de l'entreprise (Contrôle de la production, planification, gestion des groupes d'entreprise ...) n'incluant pas les intégration de l'IoT industriel dans le domaine de la Supply Chain, même si cela représente une activité de l'entreprise, mais n'est pas associé à la définition exacte de l'IoT industriel, dans la Supply Chain nous trouverons le concept d'IoT qui ne sera pas intégré dans notre travail, afin de se focaliser uniquement sur les systèmes basés uniquement sur l'IoT Industriel.

Ce mémoire étant organisé sur plusieurs étapes, la première consistera à donner de brèves notions sur les concepts clés de notre sujet tel que l'industrie 4.0, l'IoT industriel, la fabrication intelligente ou « smart manufacturing » et la prise de décision, l'étape suivante abordera les détails de notre méthodologie de recherche, nos questions de recherche, ainsi que les résultats obtenues lors de la sélection des travaux de référence à partir de la littérature, ensuite nous entamerons une analyse approfondie des travaux retenues selon nos critères de taxonomie, puis s'en suivra une partie pour discuter de nos résultats, répondre à nos questions de recherche et comparer notre mémoire aux travaux précédents pour mettre en avant la valeur ajoutée qu'apporte ce manuscrit. Nous finirons par une conclusion résumant ce que nous avons accompli en parlant des perspectives de ce sujet de recherche qui pourrait succéder au travail effectué

CHAPITRE 1 BACKGROUND THÉORIQUE

1.1 Industrie 4.0 et plus :

La quatrième révolution industrielle (alias Industrie 4.0, traduit de Industrie 4.0 comme en allemand) est née en 2011 d'un projet de la stratégie high-tech du gouvernement allemand. Elle a fait évoluer le concept de systèmes cyber-physiques (CPS) vers des systèmes de production cyber-physiques (CPPS) (Vogel-Heuser et Hess 2016). Smart Factory ou « usine intelligente » est l'une des principales initiatives associées à l'industrie 4.0 (Zuehlke 2010). Le terme Industrie 4.0 a été introduit publiquement en 2011 à la Foire de Hanovre, et il s'appuie sur les définitions suivantes des trois premières révolutions industrielles (Vogel-Heuser et Hess 2016; Xu et al. 2021). La première révolution industrielle a été marquée par le passage de méthodes de production manuelles à des machines actionnées par la vapeur ou l'eau. Grâce à l'électricité, la deuxième révolution industrielle a transformé les usines en chaînes de production modernes, ce qui a entraîné une productivité élevée et une croissance économique importante. La troisième révolution industrielle a vu des ordinateurs de terrain comme le contrôleur logique programmable (PLC) et des technologies de communication dans le processus de production, ce qui a conduit à une production automatisée. À l'ère de l'industrie 4.0, les systèmes de production, sous la forme de CPPS, peuvent prendre des décisions intelligentes grâce à la communication et à la coopération en temps réel entre les "objets manufacturiers", ce qui permet une fabrication flexible de produits personnalisés de haute qualité avec une efficacité de masse (Lu, Xu, et Wang 2020).

Lorsque les entreprises ont commencé à adopter l'industrie 4.0, la cinquième révolution industrielle (industrie 5.0) est apparue. Par industrie 5.0, on entend la reconnaissance du pouvoir de l'industrie à atteindre des objectifs sociétaux 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 du travailleur de l'industrie au centre du processus de production. L'introduction de l'industrie 5.0 repose sur l'observation ou l'hypothèse que l'industrie 4.0 se concentre moins sur les principes initiaux d'équité sociale et de durabilité, mais davantage sur la numérisation et les technologies axées sur l'IA pour accroître l'efficacité et la flexibilité de la production. Le concept d'industrie 5.0 fournit donc un point de vue et une orientation différents et souligne l'importance de la recherche et de l'innovation pour soutenir l'industrie dans son service à long terme à l'humanité dans les limites planétaires (Xu et al. 2021; « Industry 5.0 » s. d.).

Dans (Danjou, Rivest, et Pellerin, s. d.) 10 groupe technologies tournant autour de l'industrie 4.0 sont illustré comme dans la figure ci-dessous :

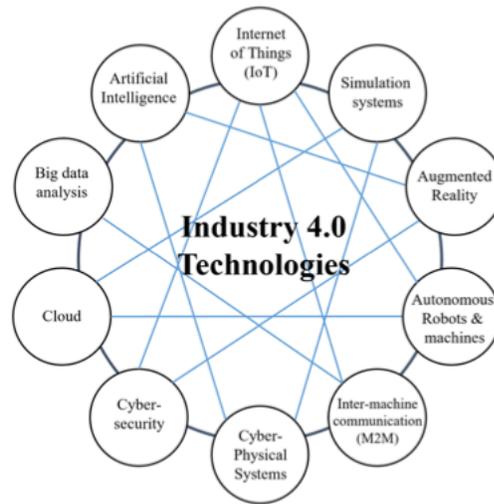


Figure 1 Illustration des groupes de technologie de l'industrie 4.0 par (Danjou, Rivest, et Pellerin)

Cette illustration nous sert à entrevoir les technologies intervenant dans ce genre de problématique.

1.2 Smart manufacturing :

Le terme " smart manufacturing " (fabrication intelligente) fait référence à un paradigme axé sur les données qui favorise la transmission et le partage d'informations en temps réel sur des réseaux omniprésents, dans le but de créer une intelligence de fabrication dans tous les aspects de l'usine (Davis et al. 2012). Les experts prévoient que la fabrication intelligente pourrait devenir une réalité au cours des 10 à 20 prochaines années. L'objectif de la fabrication intelligente est similaire à celui de la fabrication traditionnelle et de la veille économique, qui se concentre sur la transformation des données brutes en connaissances. En retour, ces connaissances peuvent avoir un effet positif sur les opérations en favorisant une meilleure prise de décision. Cependant, la fabrication intelligente peut être distinguée de l'intelligence de fabrication traditionnelle, étant donné qu'elle se concentre sur la collecte, l'agrégation et le partage en temps réel des connaissances à travers les processus physiques et informatiques, afin de produire un flux continu d'intelligence opérationnelle (Lee, Bagheri, et Kao 2015). En termes simples, la fabrication intelligente peut être considérée comme une application intensifiée de l'intelligence de fabrication, où chaque aspect de l'usine est surveillé, optimisé et visualisé. Le niveau de numérisation dérivé de la fabrication intelligente peut faciliter des transformations radicales (O'Donovan et al. 2015), telles que :

- Installations intégrant des connaissances - intégration des installations traditionnelles avec des connaissances et de l'intelligence dans le but de permettre des opérations " intelligentes " dans toute l'usine.

- Opérations prédictives et préventives-transformer les opérations pour qu'elles ne soient plus réactives, mais prédictives et préventives.

- Opérations basées sur la performance - promouvoir la performance plutôt que la conformité, en mettant l'accent sur la réduction de la consommation d'énergie et de matériaux, tout en maximisant la durabilité, la santé et la sécurité, ainsi que la compétitivité économique.

- L'intelligence distribuée - remplacer la prise de décision verticale et localisée par l'intelligence collective, où les décisions sont prises au profit de l'ensemble de l'organisation.

- Main-d'œuvre pluridisciplinaire : supprimer les frontières des opérations verticales des usines et cultiver une culture de la main-d'œuvre interdisciplinaire.

- Départements informatiques de nouvelle génération - recycler le personnel pour qu'il puisse gérer des infrastructures et des technologies gourmandes en données, en temps réel et sensibles à l'Internet, telles que les capteurs IoT en temps réel et les technologies big data.

Des grands axes technologiques interviennent dans des problématiques liées à la fabrication intelligente :

- **Big Data :**

Dans une usine intelligente, un grand nombre de capteurs sont utilisés pour collecter des données. Ces capteurs transforment les conditions physiques d'un objet en signaux électriques. Ces signaux sont ensuite transmis à un contrôleur logique programmable pour des actions ultérieures. Chaque composant impliqué dans la fabrication intelligente a une capacité de communication et de partage des données basée sur les nouvelles technologies de réseau. Le développement rapide des technologies IIoT avancées rend le processus d'acquisition et de stockage des données de plus en plus facile et pratique, favorisant l'ère du Big Data industriel (Nguyen et al.).

- **Intelligence artificielle et machine learning :**

L'IA désigne l'intelligence dont font preuve les machines. Il s'agit d'un ensemble d'algorithmes qui permet à une machine d'effectuer des tâches complexes en percevant l'environnement de travail et en prenant des mesures pour maximiser la possibilité d'atteindre avec succès les objectifs prédéterminés. De nos jours, le terme "intelligence artificielle" est omniprésent et son application

a été observée dans un grand nombre de domaines de la vie quotidienne. Dans la fabrication industrielle, l'IA apporte également des améliorations significatives dans la conception de robots automatiques, la prise de décision, la surveillance et la programmation du processus de production, la maintenance prédictive et l'analyse. On peut dire que la fabrication et les usines de l'industrie 4.0 ne peuvent être "intelligentes" ou "intelligentes" sans l'IA.

Dans la littérature, les algorithmes d'apprentissage automatique (ML) sont appliqués à un grand nombre d'applications telles que la classification des systèmes de surveillance de la santé, la détection des défauts après l'apparition de certaines défaillances, les prédictions des futures conditions de travail et de la durée de vie utile restante (Nguyen et al.).

- **Méthodes mathématiques :**

Les données brutes captées par divers capteurs peuvent être agrégées, fusionnées et exploitées directement par des méthodes mathématiques ou des moyens similaires afin d'obtenir des informations de meilleure qualité pour la prise de décision. Les hauts faits de la recherche sur les méthodes mathématiques impliquant plusieurs algorithmes d'optimisation mathématiques, des heuristiques et autres que nous pourrions voir dans plusieurs travaux dans la littérature (Wang et al. 2017).

1.3 Internet des objet industriel (Industrial Internet of Things) :

Basé sur un grand nombre de technologies modernes telles que les systèmes cyber-physiques, l'informatique en nuage, les technologies mobiles et l'identification par radiofréquence (RFID), l'IIoT exploite les données des capteurs et intègre le Big Data dans les techniques de communication et d'automatisation de machine à machine qui existent dans les milieux industriels depuis des années (Saturno et al. 2018). Par conséquent, il permet de créer de nouveaux modèles économiques en améliorant la productivité, en exploitant l'analytique pour l'innovation, en maximisant l'efficacité opérationnelle, en optimisant les opérations commerciales, et en protégeant les systèmes. Les avantages de l'IoT industriel dans la fabrication intelligente et les usines intelligentes sont largement discutés dans la littérature (Zhong, Xu, Klotz, et al. 2017)

La première plate-forme de base essentielle de l'IoT industriel est l'Internet des objets (IoT), qui est un réseau de dispositifs physiques dotés de capteurs, d'actionneurs, d'électronique, de logiciels et de la connectivité réseau qui permet à ces objets de se connecter et d'échanger des données. L'IoT est un pont

entre le domaine numérique et le domaine physique. Récemment, l'apparition de nouvelles infrastructures de communication telles que la communication mobile sans fil de 5e génération (5G) et les réseaux LPWA (Low-power Wide- area) a également contribué de manière significative à l'IoT industriel (Hui Yang et al. 2019)

Une autre technologie de pointe de l'IoT industriel est le système cyber-physique (CPS). Le CPS contient des interactions en réseau qui sont conçues et développées avec des entrées et des sorties physiques, ainsi que leurs services cybernétiques tels que les algorithmes de contrôle et les capacités de calcul. Il est désormais considéré comme l'une des avancées les plus significatives dans le développement de l'informatique et des technologies de l'information et de la communication. (Herterich, Uebernickel, et Brenner 2015) ont étudié l'influence des CPS sur les services industriels dans le secteur de la fabrication.

Internet of Things vs IoT industriel :

L'Internet industriel des objets relie le monde physique des capteurs, des appareils et des machines à l'Internet et, en appliquant l'analyse approfondie par le biais de logiciels, transforme des données massives en de nouvelles connaissances puissantes. Flexibilité et complexité et d'intelligence. L'Internet industriel des objets (IoT industriel) désigne l'extension et l'utilisation de l'Internet des objets (IoT) dans les secteurs et applications industriels. En mettant l'accent sur la communication de machine à machine (M2M), le big data et l'apprentissage automatique, l'IoT industriel permet aux industries et aux entreprises d'avoir une meilleure efficacité et fiabilité dans leurs opérations.

L'IoT industriel peut être divisé en trois catégories, en fonction de l'utilisation et de la clientèle :

- 1- L'IoT grand public : comprend les appareils connectés tels que les voitures intelligentes, les téléphones, les montres, les ordinateurs portables, les appareils connectés et les systèmes de divertissement.
- 2- L'IoT commercial : comprend des choses comme les contrôles d'inventaire, les traqueurs d'appareils et les appareils médicaux connectés.
- 3- L'IoT industriel : couvre des éléments tels que les compteurs électriques connectés, les systèmes d'évacuation des eaux usées, les jauges de débit, les moniteurs de pipeline, les robots de fabrication et d'autres types d'appareils et de systèmes industriels connectés.

Nous entrons dans une ère de profonde transformation, le monde numérique optimisant l'efficacité de nos actifs physiques les plus critiques. Nous assistons à une incroyable innovation autour de l'internet, qui accélère la connexion des objets non seulement avec les humains mais aussi avec d'autres objets. Les applications IoT industriel promettent d'apporter une immense valeur à nos vies (Munirathinam 2020).

La figure suivante illustre de manière claire les différences que nous pouvons voir entre les deux concepts.

Context	Internet of Things	Industrial Internet of Things
Focus Field	General Applications	Factory Uses
Programmability	Easy Off-site programming	Remote on-site programming
Maintenance	As per the preference of Consumer	Pre-planned and Scheduled
Interoperability	Autonomous	CPS-Integrated
Safety and Security	Utility-Centric	Robust and Advanced
Outcome	As per Comfort and Use	Operational Efficiency
Scalability	Small-scale Networks	Highly interconnected Networks
Ability to bounce back	Not Necessary	High tolerance to fault needed
Accuracy and Precision	Critically monitored	Highly Synchronous
Focus Development	Smart Devices	Industrial Systems

Figure 2 Les différences entre l'IoT et l'IoT industriel (Atharvan et al. 2022)

1.4 La prise de décision en entreprise :

La prise de décision consiste à faire des choix parmi les différentes possibilités d'action, ce qui peut également inclure l'inaction. Si l'on peut affirmer que la gestion est une prise de décision, la moitié des décisions prises par les gestionnaires au sein des organisations échouent (Ireland et Miller 2004). Par conséquent, l'amélioration de l'efficacité de la prise de décision est un élément important de l'optimisation de votre efficacité au travail. Ce chapitre vous aidera à comprendre comment prendre des décisions seul ou en groupe tout en évitant les pièges courants de la prise de décision.

Les décisions peuvent également être classées en trois catégories en fonction du niveau auquel elles sont prises. Les décisions stratégiques fixent le cap de l'organisation. Les décisions tactiques sont des décisions sur la manière dont les choses seront faites. Enfin, les décisions opérationnelles sont des décisions que les employés prennent chaque jour pour faire fonctionner l'organisation.

Le modèle de prise de décision rationnelle en entreprise ou dans le monde du business décrit une série d'étapes que les décideurs doivent prendre en compte si leur objectif est de maximiser la qualité de

leurs résultats. En d'autres termes, si vous voulez être sûr de faire le meilleur choix, il peut être judicieux de passer par les étapes formelles du modèle de prise de décision rationnelle (Publisher 2015).

1.5 Les systèmes d'aide à la décision (Decision Support System) :

Les DSS sont des outils interactifs qui permettent aux utilisateurs de prendre des décisions éclairées sur des problèmes non structurés. Ces systèmes contiennent généralement une base de données d'informations sur un problème, un modèle décrivant le problème étudié et une interface utilisateur. La figure 2 montre les composants d'un SAD (système d'Aide à la Décision) typique.

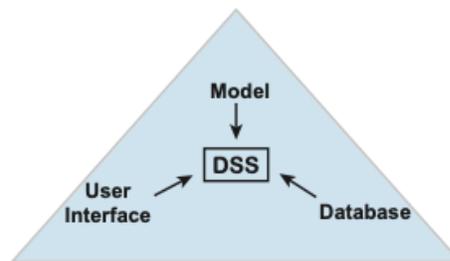


Figure 3 Les composants d'un système d'Aide à la Décision) par (Walsh)

Selon Turban et al., un DSS est une méthodologie ou une approche d'aide à la prise de décision, et le DSS est capable de traiter de grandes quantités de données sur une base fréquente. Il utilise un système d'information basé sur la machine (CBIS), qui est flexible, interactif et adaptable, et est spécialement développé pour résoudre un problème de gestion spécifique non structuré. Marakas [24] affirme que si les entreprises veulent réussir et exceller sur leurs marchés, elles ont besoin d'un système d'information capable de fournir aux décideurs des informations pertinentes pour la prise de décision. En outre, Turban et al. [23] affirment qu'un DSS prend en charge chaque phase du processus de prise de décision et peut intégrer les propres idées d'un décideur dans les données d'aide à la décision.

(Marakas, 2003) définit un DSS comme "un système d'aide à la décision est un système sous le contrôle d'un ou plusieurs décideurs qui aide à l'activité de prise de décision en fournissant un ensemble organisé d'outils destinés à imposer une structure sur des parties de la situation de prise de décision et à améliorer l'efficacité finale du résultat de la décision". En 2005, Turban et al. ont défini un DSS comme "... une approche d'aide à la décision". Un DSS est également défini comme un "système informatique qui soutient les activités de prise de décision, y compris les systèmes experts et l'analyse décisionnelle multicritères". Comme on peut le voir en regardant les trois définitions ci-dessus, il semble qu'il n'y ait pas de consensus exact sur ce qu'est réellement un DSS. C'est pourquoi Turban et al. ont rassemblé les

principales caractéristiques et capacités d'un SAD, que l'on peut voir dans la figure 3. En référence à cette figure, un DSS fonctionne comme un support pour les décideurs, principalement dans des situations semi-structurées et non structurées, en combinant l'information informatisée et le jugement humain (1). Le DSS apporte également un soutien à tous les décideurs à tous les niveaux de gestion, des cadres aux décideurs de la ligne (2), et à la fois aux individus et aux groupes de personnes (3). Les décisions prises à l'aide d'un système d'aide à la décision peuvent être prises une fois, plusieurs fois ou être répétées (4), et le système d'aide à la décision apporte son soutien tout au long du processus de décision : intelligence, conception, choix et mise en œuvre (5). Un DSS peut également soutenir une diversité de styles et de processus de décision (6), et les DSS sont adaptables et flexibles dans le temps (7). En outre, l'efficacité d'un SAD peut être considérablement accrue par l'utilisation d'une interface homme-machine très conviviale (8). L'amélioration apportée par un SAD concerne l'efficacité de la prise de décision (rapidité, qualité, précision) plutôt que l'efficacité (coût de la prise de décision) (9), et l'objectif d'un SAD est de soutenir le décideur et non de le remplacer (10). De plus, un DSS peut être développé et modifié par ses utilisateurs finaux (11), et l'utilisateur est capable d'expérimenter différentes stratégies sous différentes configurations grâce à la capacité des DSS à analyser les situations de prise de décision (12). Enfin, un DSS donne accès à une diversité de sources, de formats et de types de données, car il peut être utilisé comme un outil autonome pour un seul décideur ou être distribué dans toute une organisation en utilisant les technologies du Web et des réseaux (13 et 14).

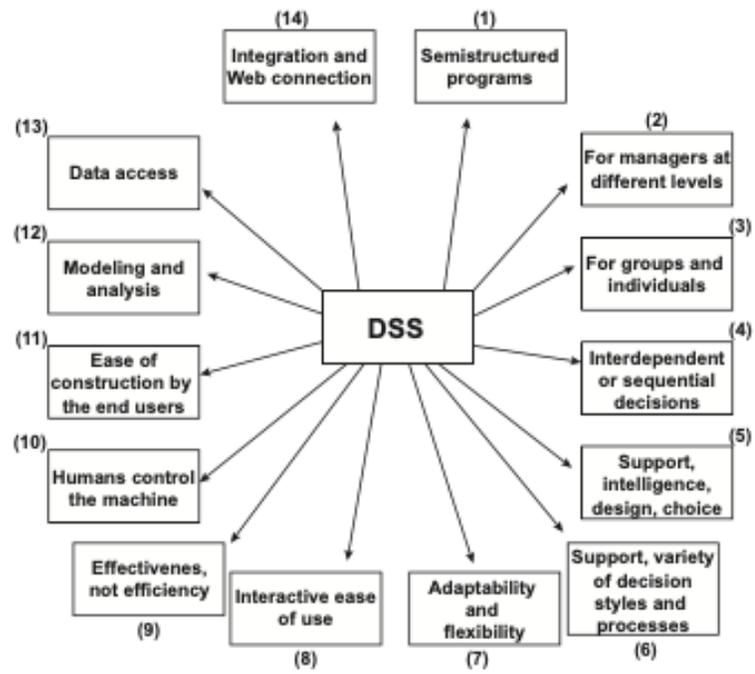


Figure 3 caractéristiques et capacités clés d'un DSS selon (Turban et al.)

CHAPITRE 2 PROTOCOLE DE RECHERCHE

2.1 Questions de recherche :

Pour conduire notre restitution des analyses faites sur nos résultats en bonne et due forme, nous nous appuierons sur nos questions de recherches. La réponse à ces questions de recherche représentera les résultats souhaités de cette analyse :

RQ n°1 : Quels sont les objectifs industriels visés par la mise en place de systèmes de prise de décision basé sur l'IoT industriel ?

RQ 1.1 : Quels sont les domaines d'application des solutions proposées ?

RQ 1.2 : Quel est le périmètre de décision des solutions proposées ?

RQ 1.3 : Quels sont les secteurs industriels visés ?

RQ n°2 : Quelle est la structure nécessaires pour porter les systèmes de prise de décision au niveau de l'architecture industriel basées sur l'IoT ?

RQ 2.1 : Quelles sont les technologies qui interviennent dans cette structure ??

RQ 2.2 : Y a-t-il des applications réelles misent en place en industrie ?

RQ n°3 : Comment ce fait la prise de décision dans un système industriel basé sur l'IoT ?

RQ 3.1 : Qu'elles sont les méthodes et techniques utilisées pour la prise de décision dans un système basées sur l'IoT industriel ?

RQ 3.2 : Les systèmes de prise de décision prennent des décisions indépendamment de l'intervention humaine ?

RQ 3.3 : Est-ce que la prise de décision se fait en temps réel ?

RQ n°4 : Lors des dix dernières années, y-t-il eu une tendance de recherche sur le choix des sujets et des méthodes utilisées pour traiter les problématiques liées à la prise de décision dans les systèmes industriel basés sur l'IoT ?

2.2 Méthodologie :

Afin d'étudier la problématique de ce travail qui porte le titre de « Les méthode de prise de décision dans les systèmes industriels basés sur l'internet des objets », nous engageons une revue systématique de la littérature pour obtenir les différents éléments de réponse pertinents à notre problématique. Nous avons en premier lieu, identifier les articles présentant des arguments de réponses quant au périmètre et objectifs relatifs à notre sujet de recherche, pour ensuite, pouvoir approfondir notre étude au niveau de chaque article, en terme de méthodes et technologies utilisées, afin de comparer au niveau de chaque travail, les différents résultats et conclusions, et ainsi pouvoir à notre tour en produire et voir les limites ainsi que les domaines nécessitants plus des recherches approfondies.

2.3 Rappel sur la définition de la méthodologie du SLR (Revue systématique de la littérature) :

Dans ce travail, l'approche choisi pour l'étude de cette problématique est la revue systématique de la littérature (SLR). Une étude basée sur l'extraction d'articles scientifiques portants sur notre sujet de recherche en exploitant plusieurs bases de connaissances. Cette méthode se caractérise de par sa rigueur et sa fiabilité, les sources sont démontrables et vérifiables, et le but du SLR et de répondre à une question de recherche en suivant un protocole sous forme d'étape prédéfinies, et en se basant sur des critères clairement stipulés avant même d'entamer la recherche. Une méthode qui aura comme principales pivots : La collecte, la synthèse et l'analyse des divers travaux de recherches et leurs résultats.

Pour mener à bien nos recherches de manière fidèle en suivant ce protocole, nous nous baserons la méthodologie énumérée en trois phases par (Kitchenham, s. d.) :

- 1. La planification :** Cette phase sert à définir le périmètre, ainsi et surtout à préciser la question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion afin d'accomplir une évaluation primaire des travaux éligibles à notre recherche.
- 2. La conduite de recherche :** l'étape ou nous chercherons à établir notre liste de travaux de recherches en mettant en action les artifices définis à la phase précédente.
- 3. Extraction de données et résultats :** Cette dernière étape a pour objectif d'aboutir à une synthèse globale à partir de l'extraction des données lors de nos recherches, afin d'avoir un recul suffisant sur les résultats à partir des informations nécessaires pour répondre à notre question de recherche.

2.4 Conduite de la recherche :

L'objectif étant d'obtenir une liste de travaux de recherches la plus exhaustive possible, nous chercherons d'abord à obtenir les mots clés les plus pertinents dans le périmètre de notre sujet pour pouvoir ensuite définir une requête de recherche que nous introduirons dans les bases de données sélectionnées afin d'obtenir notre liste d'articles à analyser. Nous effectuerons quelques analyses des résultats obtenue au cours de notre recherches d'articles scientifiques.

2.4.1 Recherche de mots clés et définition de la requête de recherche :

Afin d'effectuer notre recherche automatique sur nos bases de données, l'objectif serait de définir les mots clés à utiliser pour optimiser notre requête de recherche.

La recherche des mots clés autour de notre sujet s'est faite à l'aide du logiciel VosViewer (« VOSviewer - Visualizing Scientific Landscapes » s. d.) qui est un logiciel qui nous permet de récupérer un export d'une base de données comportant plusieurs articles sur un sujet, et d'en visualiser le contenu sous forme de graphe où les sommets sont les mots en fonction de leurs récurrences, quant aux arcs, ils représentent le nombre de fois où deux mots clés liés sont cités en même temps dans un même article, plus l'arc est imposant, plus le lien entre les deux mot clés est récurrent. Cette outil nous permet donc de visualiser les mot clés les plus utilisés dans un sujet et les relations entre eux.

Nous avons choisi pour cette exercice, la base de données de ScienceDirect, avec une recherche se basant uniquement sur les mot clés de la problématique « Industrial Internet of Things » et « Decision making », et nous pouvons voir ci-dessous les résultats.

Nous choisirons donc de nous intéresser au termes ne limitant point notre recherche, afin de rester sur une approche globale sur le sujet et non propre à un domaine ou un groupe de technologies.

Les mots clés choisis sont : « Industrial IoT », « Industrial Internet of Things », « Decision making », « Decision System » et « Smart manufacturing », qui représentent nos mots clés propres à notre problématique ainsi que leurs synonymes et les mots clés qui les plus utilisés dans ces problématiques-là.

L'objectif de notre chaîne de recherche (ou requête de recherche) est de capturer tous les résultats qui se rapportent à nos questions à partir des différentes bases de données.

- (“Industrial IoT” OR “Industrial Internet of things” OR “Smart manufacturing”)* AND (“decision making” OR “Decision System”)*
- (TITLE-ABS-KEY(Industrial Internet of things) OR TITLE-ABS-KEY(industrial IoT) OR TITLE-ABS-KEY(Smart manufacturing))* AND (TITLE-ABS-KEY(Decision making) OR TITLE-ABS-KEY(Decision-making) OR TITLE-ABS-KEY(Decision System))*

2.4.2 Critères de recherche :

Pour nos critères, nous avons fait en sorte d'avoir les résultats les plus fiables et retenir les travaux de recherche les plus pertinents pour mener à bien notre SLR. Cela se fait en deux étapes, premièrement en obtenant une première liste d'articles à travers l'application de critères d'inclusion, puis en affinant notre liste à travers des critères d'exclusions :

- Critère d'inclusion :

- Publications datant des dix dernières années entre 2012 et 2022 ;
- Article rédigé en anglais ;
- correspondance à la chaîne de recherche définie ;
- Article publié dans un journal ou une conférence scientifique reconnue ;

- Critère d'exclusion :

- Article de magazine, revue ou journal non scientifique, et les chapitres de livre ;

- Article ne parlant pas de manière spécifique de la prise de décision ou dont l'un des objectifs principaux n'est pas la prise de décision mais représente plus un objectif secondaire ;
- Étude selon le nombre de citations ;

2.4.3 Sources de recherche :

La recherche a été menée sur plusieurs bibliothèques numériques présentes en ligne en utilisant la chaîne de recherche définie plus haut. Afin de diversifier nos sources et avoir une liste d'articles assez exhaustive par rapport à l'ampleur de notre projet de recherche, les bibliothèques numériques exploitées sont les suivantes :

- **ScienceDirect** <http://www.sciencedirect.com>
- **Research gate** <https://www.researchgate.net>
- **MDPI** <https://www.mdpi.com>
- **MiageScholar**
- **SpringerOpen** <https://www.springeropen.com>
- **IEEE Digital Library** <http://ieeexplore.ieee.org>

Cette liste de sources ne se veut pas exhaustive, ces bibliothèques numériques ont été choisies pour leurs accessibilités, leurs pertinences et leurs relations avec notre domaine de recherche.

2.4.4 Résultats obtenues à partir de sources :

Les résultats obtenus à partir de la requête de recherche sur ces sources ont été conséquents, à plus de 1000 articles par sources, nous avons fait passer une grande partie des articles jugés par la source « les plus pertinents » par un processus de filtrage selon les critères d'inclusion et d'exclusion énoncés, tout en insistant sur le fait que les articles doivent avoir pour objectif la prise de décision, et la figure suivante représente le nombre d'articles restant à chaque étape :

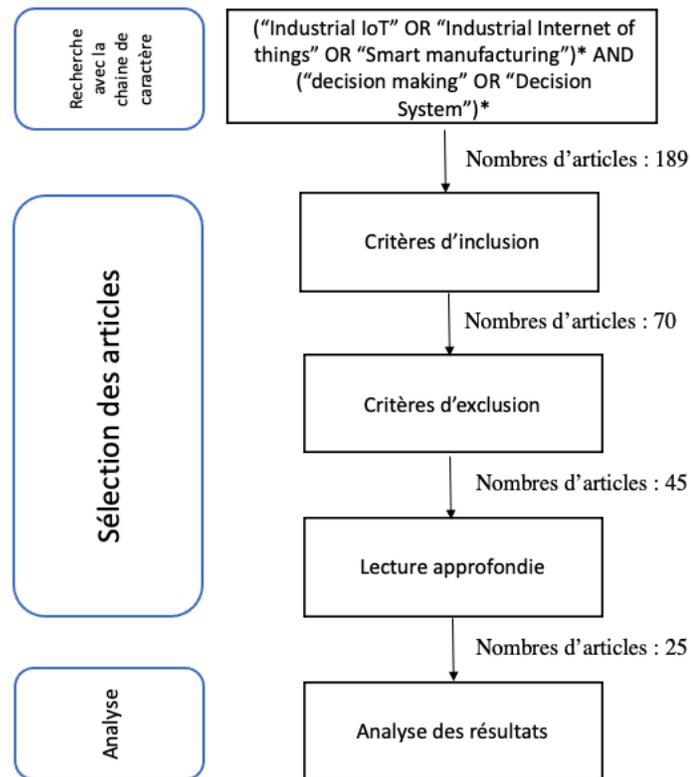


Figure 6 Schéma du processus suivi pour le choix des articles

Ce processus de sélection des articles est passé par plusieurs étapes comme vu sur le schéma ci-dessus. De la recherche d'articles en utilisant la chaîne de recherche, jusqu'à la sélection par rapport aux critères d'exclusion, il nous restait 45 articles potentiels. La dernière étape a été ajoutée, même si elle faisait partie des critères d'exclusion, car certains articles demandaient une lecture et une analyse plus approfondie afin de saisir l'objectif réel et la ligne directrice guidant le travail fait pour que nous puissions déterminer si l'article serait bien utile à notre recherche. Par exemple un article qui correspond à nos critères mais qui ne positionne pas la prise de décision parmi ses objectifs principaux mais plus comme une perspective future ou un intérêt potentiel ou encore considère la prise de décision comme un objectif secondaire de la solution n'est pas retenu dans notre liste d'article, ou alors un article qui ne se focalise pas sur le domaine industriel mais parle plutôt de manière générale de tous les secteurs n'est aussi pas retenu. Donc au terme de cette étude approfondie des articles nous retenons 25 articles pour notre analyse.

La liste des articles sélectionnés ne prétend pas être une liste exhaustive de tous les articles sur le sujet, mais offre des éléments assez pertinents pour pouvoir effectuer une analyse du sujet et en tirer des conclusions. Le tableau ci-dessous recense les articles retenus et certains critères qui nous avons sélectionné pour notre analyse afin de pouvoir statuer sur des conclusions.

Tableau 1 Tableau de référencement des articles sélectionnés avec nos critères d'analyse

Articles	Étude de cas	Domaine d'application	Objectif du système	Technologie utilisée pour le système industriel IoT	Techniques/outils pour l'extraction des connaissances	Techniques pour la prise de décision	Scope	Secteur industriel	Traitement des données	Type de prise de décision
(L. Chen et al. 2018)	Simulation	Distribution de charge	Prise de décision pour la répartition de charge sur les nœuds d'un système basé sur le Fog-computing	Non spécifié	Configuration fog computing	Optimisation de Lyapunov et le parallel Gibbs sampling	opérationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop
(Lou et al. 2021)	Étude à partir de données réelles d'un système	Conception de produit	Prise de décision décentralisée incluant plusieurs parties prenantes	IIoT Devices, product life cycle management.	Algorithmes : Intuitionistic linguistic number (ILN), Normal Trapezium Cloud, et EGG (appareil de neuroimaging), Edge computing	Mesure floue lambda, et l'intégrale de choquet	Tactique	Automobile	Non	Open loop

(Ren et al. 2019)	Simulation	Logistique	Aide à la décision pour la livraison des produit en atelier	RFID en lecture et écriture, capteur intelligent, assistant numérique personnel (PDA), BackBone Concentrator Node(BcN), WLAN et IPv6	Big Data processing, Apache framwork (Storm, Hadoop)	Algorithme APriori	Opérationnel	Non spécifié	Oui	Open loop
(Li et al. 2018)	Implémentation dans le système de production	Production	Aide la décision pour la surveillance dynamique, l'exécution et la gestion de la production	RFID, capteurs, scanner code barre, équipement DCS, IHM	Standardisation XML, Bases de données logiques, data mining	Algorithme Apriori (association et corrélation)	Opérationnel	Agro-alimentaire	Oui	Open loop
(Zhong, Xu, Chen, et al. 2017)	Étude à partir de données réelles d'un système de production	Logistique	Contrôle et amélioration de la logistique en atelier, la charge de travail sur les agents et les délais de livraison.	RFID, ZigBee, WIFI, Bluetooth et 433 Mhz	Définition de SMO, protocole Char (ACSII)	Big Data analyse	Opérationnel	Non spécifié	Oui	Open loop
(Saldivar et al. 2016)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Conception de produit	Conception intelligente d'un produit et prédiction des besoins client	Non spécifié	Cloud computing, Big data warehouse	K-means, Algorithme génétique, Moteur de conception automatisé, CPS	Tactique	Automobile	Non	Open loop

(Zörner et al. 2019)	Implementation sur le projet européen ZEArO	Contrôle de qualité produit	Système de support à la décision pour le contrôle qualité des produit à zéro défaut.	Caméras lasers	Edge computing, format HDF5, base de données industrielle	QlikView (outil BI), Tecnomatrix plant simulation, .NET RAD (Rapid Application Développement)	Opérationnel	Aérospatiale	Non	Open loop
(Z. X. Guo et al. 2015)	Implementation sur le projet européen ZEArO	Suivi et planification de la production	Le système apporte au management, un suivi et une planification en temps réel de la production dans une industrie de produit personnalisés	RFID	Cloud computing, Base de données (MySQL, MS SQL Server, Oracle)	Optimum de Pareto, Algorithme génétique de trie non nominal, modèle de simulation de Monté Carlo, élagage heuristique)	opérationnel	Textile	Oui	Open loop
(Mohammed et al. 2017)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Stockage dans les entrepôts de produits	Prise de décision pour l'automatisation du stockage automatique des produit dans les entrepôts	RFID	Modèle CRISP-DM, programmation multicritères floue.	Méthode TOPSIS	Tactique	Non spécifié	Non	Open loop
(X. Chen et al. 2022)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Distribution de charge	Prise de décision pour la répartition des charges sur plusieurs Edge du système	Base de station sans fil	Cloud computing, Q-learning, Algorithme SVR	Apprentissage par renforcement (RF-CLB)	Opérationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop

(He et al. 2020)	Implémentation dans un système de production	Détection d'anomalie dans le contrôle de qualité	Prise de décision pour la transmission des données d'anomalies détectées	Non spécifié	Edge-computing, nœuds composés de : CS, SVP, TBCC	Algorithme de machine learning DNN	Opérationnel	Automobile	Oui	Closed loop
(Helin Yang et al. 2020)	Simulation	Qualité de service	Prise de décision pour l'optimisation des ressources sur un systèmes réseaux Industrial IoT hétérogène	RF (radio frequency), VLC (Visual Light Communication)	Formulation mathématique basés sur les Access Point, MDP (Markov decision process)	Apprentissage par renforcement (Post decision state)	Operationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop
(Zhang et al. 2018)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Planification	Prise de décision pour l'optimisation de la production et la planification en temps réel	RFID, capteurs, Palette connectées	Méthode de classification, et fonction multi-objectif et multicritères	Optimisation par essais particuliers, ensembles Pareto optimaux	Opérationnel	Automobile	Oui	Open loop
(Turker et al. 2019)	Simulation	Planification	Prise de décision pour la répartition des Workflow dans un atelier de production	Non spécifié	Non mentionné	Simulation de scénarios	opérationnel	Non spécifié	Oui	Open loop

(Rathee, Garg, et al. 2021)	Simulation	Transmission des données	Prise de décision pour l'analyse de la fiabilité des données et la protection des données IIoT	Non spécifié	Définition de paramètre, transmission à travers le web	TOPSIS, algorithmes SAW (Simple Additive Weighting), logique floue	opérationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop
(N. Kaur et Sood 2017)	Simulation	Management des salariés	Prise de décision automatique pour la gestion et l'amélioration de l'implication et des performances des salariés	Capteurs de température, niveau de CO2, fumée, humidité, RFID, code barre, GPS, capteur pour l'analyse de la santé	Colocation mining, Amazon EMR (Apach Hadoop)	Framework basé sur la théorie des jeux	Stratégique	Non spécifié	Non	Open loop
(Sun 2022)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Structure d'entreprise	Prise de décision pour l'optimisation de l'organisation et la structure des entreprises et du cycle de vie des produits	RFID	Big data	BP Neural Network (Back Propagation Neural network)	Stratégique	Materiel Electrique	Non	Open loop

(Zhai, He, et Zhu 2022)	Simulation	Contrôle d'accès aux données	Prise de décision pour la gestion et la protection des accès aux données	Non spécifié	Block Chain, fournisseur de service cloud	Smart contract pour le systèmes AAA (Attribute Authorization Authority) et IBC (Identity-based Cryptograph)	Stratégique	Non spécifié	Oui	Closed loop
(Yao et al. 2020)	Implémentation dans un système de production	Planification	Prise de décision pour la détection d'anomalie de production et de réordonnancement des livraisons produits en temps réel	RFID	OPC-UA protocole, Serveur Cloud (KEPServerEX)	Simulation de flux (Witness software), Algorithme génétique, MES Application	opérationnel	Automobile (Electrique)	Oui	Open loop
(Mozzaquatro et al. 2016)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Sécurité des données	Prise de décision pour la détection d'attaques et assurer la sécurité de la transmission de données.	Non spécifié	C2NET plateforme	Développement basé sur les modèles MDD, développement basé sur l'Ontologie (RDF protocole, SPARQL)	Opérationnel	traitement des métaux	Oui	Closed loop

(Rathee, Ahmad, et al. 2021)	Simulation	Transmission de données	Prise de décision pour l'optimisation de la transmission de données et le partage sur le réseau industriel	Non spécifié	Modèle cognitif (Cloud, IA)	AHP, SAW	Opérationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop
(Al-Jarrah et al. 2020)	Simulation	Collaboration et transmission d'information	Prise de décision pour la collaboration et la fusion de la décision à travers la transmission d'information	Réseau IoT sans fil, Nb-IoT (Narrow Band), LoRaWAN	CHD (Cluster Head)	Algorithme ILA (individual likelihood approximation)	Opérationnel	Non spécifié	Non	Open loop
(Zhong et al. 2013)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Planification	Prise de décision collective basé sur la SOA pour la planification de la production	RFID	XML, Service de configuration propre à l'algorithme RAPShell (Algorithme développé)	Service de planification hiérarchique de production	Opérationnel	Automobile	Oui	Open loop

(Nayak, Ahmed, et Misra 2021)	Simulation	Sécurité de l'information	Prise de décision pour la détection d'attaque et la protection de l'information	IPv6 (6LoWAN), Routing for Low Power Lossy Networks (RPL)	Non spécifié	Algorithme GAN-C (ANN), SVM	Opérationnel	Non spécifié	Oui	Closed loop
(Santos et al. 2019)	Étude à partir des données réelle de l'entreprise	Planification	Système d'assistance à la décision pour la planification et le monitoring à l'aide de la simulation {Citation}	MQTT (IoT Broker)	IoT Message Broker (KAFKA), IoT Message Repository (MongoDB), Excel	Simulation Digital Twin (Simio Software)	Opérationnel	Automobile	Oui	Open loop

Le tableau ci-dessus détaille les articles retenus pour notre SLR, les informations explicitées sont les prémisses de nos axes d'analyses. Le tableau n'est pas une représentation détaillée des articles et de leur contenu, mais a pour objectif de donner une description brève englobant le contenu de chaque article, l'objectif, le secteur, ainsi que les différents détails techniques concernant le système IoT Industriel employé, les méthodes d'extraction de connaissances ainsi que les techniques et technologies utilisées pour établir un système de prise de décision nous ouvrent la porte vers une analyse plus approfondie par rapport à chaque informations retenues, ainsi qu'une analyse des corrélations entre ces informations, qui pourra nous mener, dans un premier temps, à répondre à nos questions de recherche, puis d'en tirer d'autres résultats et se poser d'autres questions, qui pourrait aussi bien trouver leurs réponses, ou alors représenter des perspectives futures à la recherche dans ce domaine.

CHAPITRE 3 ANALYSE DES RÉSULTATS :

Nous établirons dans ce qui suit une analyse des articles retenues, l'objectif principale étant de trouver réponse à nos question de recherche, la restitution des résultats se fera selon l'ordre de ces dernières, chaque partie de notre analyses répondra à une question. Pour pouvoir répondre à toutes nos questions, nous analyserons nos articles par rapport à leurs critères de classification, puis nous essaierons de trouver des corrélations entre les résultats tirés de différents critères.

3.1 Panorama des articles par rapport à l'usage :

Dans cette partie, nous répondrons à notre première question de recherche « Quels sont les objectifs industriels visés par la mise en place de systèmes de prise de décision basé sur l'IoT industriel ? ». Cette partie représente notre premier volet d'analyse destiné, nous pouvons aussi dire que ce volet sert à répondre à la question du « Pourquoi ? » ou de l'usage des systèmes de prise de décision dans des systèmes basées sur l'IoT, les processus industriels visés, les secteurs ainsi que le périmètre de décision représenterons les trois problématiques sur lesquelles nous nous baserons sur cette partie.

3.1.1 Analyse par rapport au critère des processus industriels visés :

Cette partie répondra à la première sous question de la première question de recherche. Les objectifs visés par les systèmes de prise de décision en industrie sont variés, nous en avons identifié plusieurs durant la lecture de nos articles. Les systèmes de prise de décision basés sur l'IoT industriel peuvent être développés pour l'optimisation de la gestion de processus dédiés à la production en industrie, d'autre travaux s'orientent sur des problématiques liées à l'optimisation des structure IoT en industrie, ainsi que des questions de sécurité de données dans ces systèmes, d'autres articles visent des problématique managériales dans l'entreprise.

Nous avons classifié ces problématiques comme suit avec le nombre d'articles pour chaque sujet :

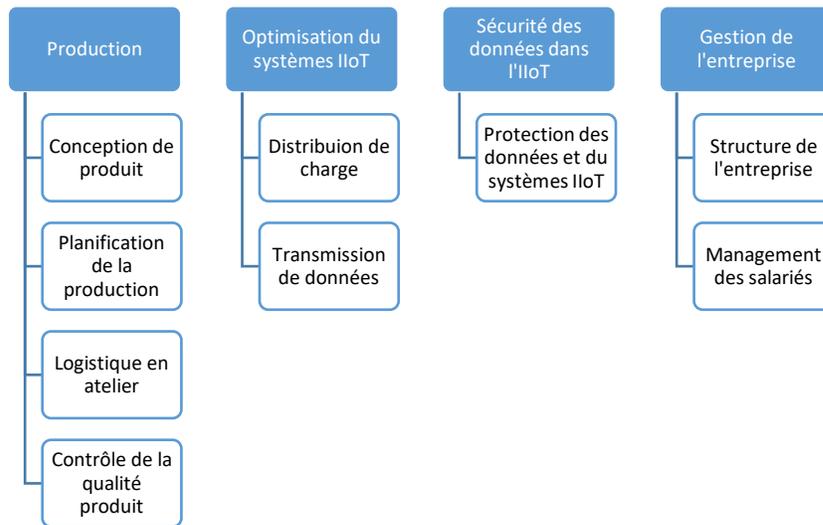


Figure 7 Classification les fonctions industrielles visées

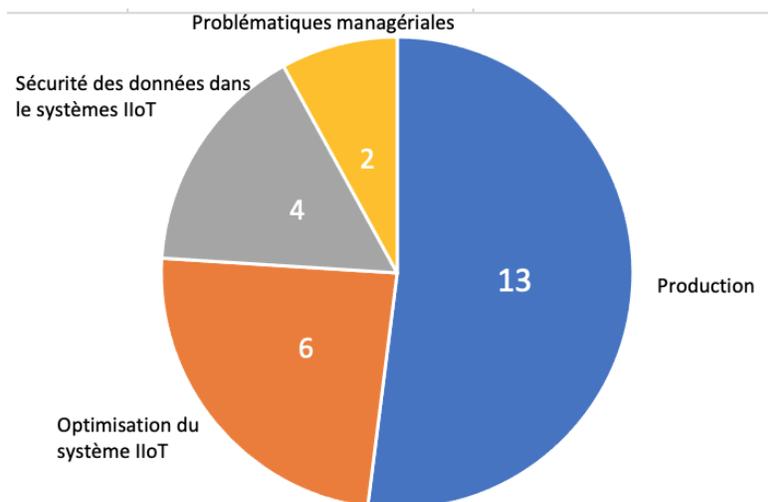


Figure 8 Proportions des articles par fonctions industrielles visées

Les figures ci-dessus représentent notre classification des processus visés avec le nombre d'articles qui visent chaque problématique, et la portion des articles par processus de industriel. Nous pouvons voir que plus de la moitié des recherches s'intéressent aux problématiques liées directement à la production, et le processus qui revient le plus et le processus de planification de la production, près du quart des articles s'intéressent aux problématiques liées à l'optimisation des systèmes IoT industriel, le reste des articles

s'intéressent aux problématique de sécurité des systèmes IoT industriel ainsi qu'aux problématiques managériales. Nous allons nous intéresser plus en détails aux problématiques de chaque travail de recherche de notre liste d'articles.

- **Production :**

Pour les problématiques liées aux activités de production, nous avons plusieurs travaux. Dans ce volet, et en générale, la plupart des articles s'intéressent aux problématiques de planification de production en atelier, (Zhong et al. 2013) propose une solution de prise de décision pour la planification de la production en faisant collaborer différentes parties prenantes de différents niveaux du management responsables de la production, (Yao et al. 2020) propose un système de prise de décision pouvant à la fois détecter les anomalies sur le produit lors de production et définir un nouvel ordonnancement du produit en question pour sa refabrication, (Turker et al. 2019) a développé un système pour la répartition optimisée des flux de charge (Workflow) dans l'atelier de production sur plusieurs lignes de production, (Li et al. 2018; Y. Guo et al. 2020; Zhang et al. 2018; Santos et al. 2019) proposent dans leurs travaux, des systèmes permettant le contrôle et la gestion de la production avec l'optimisation des plans de production selon différentes contraintes.

Dans les travaux de (Lou et al. 2021) l'objectif du systèmes de prise de décision était d'obtenir la conception optimale d'un produit, cette conception censée répondre aux besoins des clients était directement générée par le système de prise de décision, (Saldivar et al. 2016) ayant le même objectif mais le systèmes cette fois-ci est capable de prédire les besoins clients pour avoir une conception du produit qui saura répondre aux besoins clients.

L'objectif du système de prise de décision introduit par (Ren et al. 2019) est d'optimiser la livraison de produit dans l'atelier, son acheminement et son stockage à la fin de son cycle de production, (Zhong, Xu, Chen, et al. 2017) propose une solution qui prend en compte d'autres problématiques logistiques supplémentaires comme l'optimisation de la charge de travail sur les agents logistiques au seins de l'atelier et les délais de livraison des produits, (Mohammed et al. 2017) adapte un systèmes de prise de décision pour la conception optimal d'un système de stockage automatisé basé sur l'IoT industriel des produits dans un entrepôt.

Dans le contexte de production à zéro défaut, (Zörrer et al. 2019) a défini un systèmes pour le contrôle de qualité des produits afin de réaliser l'objectif de production de pièce à zéro défaut.

- **Optimisation du systèmes IIoT industriel :**

Certains systèmes de prise de décision s'intéressent au problématiques liées à l'optimisation des performances et des ressources du systèmes IIoT industriels , Dans (L. Chen et al. 2018) le système de prise de décision a pour but d'optimiser la performances des systèmes industriels basés sur l'IIoT industriel en contrôlant la répartition des charges sur différents nœud d'un système IIoT basé sur le Fog Computing et attribuer la charge de différents services sur les nœuds Fog (Fog Nodes) propres à des nœuds de capteurs du systèmes IIoT industriel , (X. Chen et al. 2022) propose dans ces travaux une méthode d'équilibrage coopératif de la charge dans un systèmes IIoT industriel multi-bord.

(He et al. 2020) propose une solution concernant la problématique de transmission de données, le systèmes de décision permet de prendre en compte les données produit par le systèmes industriel basé sur l'IIoT et peut différencier les données indiquant une anomalie dans le systèmes des données venant d'un déroulement normal de la production, optimisant ainsi la transmission de données en transmettant les données liées aux anomalies uniquement, (Helin Yang et al. 2020) introduit un système de prise de décision pour optimiser les ressources consommées par la transmission de données dans le systèmes IIoT industriel , le systèmes de prise de décision peut décider à partir d'un système IIoT industriel hétérogène, quel protocole de transmission utiliser afin d'optimiser les ressources consommées, (Rathee, Ahmad, et al. 2021) propose un processus décisionnel efficace et novateur pour assurer une transmission et un partage des données sans heurts entre les entités du réseau pour optimiser la transmission de données, la précision des données partagées et le temps de détection, (Al-Jarrah et al. 2020) se focalise sur les problématique de fusion de la décision décentralisé en proposant un systèmes permettant la transmission d'informations de décision produites par différents capteurs dans un large systèmes basés sur l'IIoT industriel et les fusionnant.

- **Sécurité des données dans le systèmes IIoT industriel :**

D'autres articles s'orientent vers des problématiques de sécurité des systèmes IIoT, notamment sur des questions de sécurité de transmission de données, (Rathee, Garg, et al. 2021) propose une solution permettant l'optimisation de la transmission de données sur un réseau IIoT industriel et l'identification de composantes corrompues pouvant altérer la réussites de la transmission de données en analysant la légitimité d'un nœud sur le réseau IIoT, ce systèmes protèges donc les transmissions de données des nœuds corrompues mais aussi des attaques potentielles (Attaque DoS par exemple), (Zhai, He, et Zhu 2022) propose une

solution pouvant gérer les accès aux données dans un systèmes IoT industriel et donc assurer l'intégrité des données en empêchant leur altération par des dispositifs ou acteurs malveillant, (Nayak, Ahmed, et Misra 2021; Mozzaquatro et al. 2016) proposent deux solutions différentes mais ayant pour même objectif de protéger les transmission de données dans un réseau IoT de différents types d'attaque.

- **Processus managérial :**

Certains travaux se penchent sur des problématiques se situant plus haut dans le niveau managérial, (N. Kaur et Sood 2017) propose une solution pour la gestion des salarié, un système de prise de décision basé sur l'activité des salariés qui sert à évaluer la performances des salariés pour ainsi augmenter leur productivité tout en les fidélisant et augmentant leurs sentiments d'appartenance à l'entreprise, (Sun 2022) introduit un systèmes pour améliorer l'efficacité de la production et le niveau de gestion organisationnelle des familles d'entreprises de fabrication chinoises intelligentes, En réformant la structure organisationnelle de ces dernières.

3.1.2 Analyse par rapport au critère du niveau de décision :

Nous pouvons identifier trois niveaux de décision connus au seins d'une entreprise :

- **Décisions opérationnelles :**

Décisions fréquentes qui engage l'entreprise à court terme, dans notre cas, ces décisions sont liées à des problématiques opérationnelles dont l'effet est très bref et dont la réversibilité de la décision est forte, incluant des problématiques de production (planification, contrôle de qualité, logistique), d'optimisation des systèmes IIoT et de sécurité des données. Par exemple, dans les travaux de (Ren et al. 2019) la solution a un but opérationnel qui est l'optimisation des chemin de livraison d'un produit dans un atelier de production vers son entreposage, d'autre travaux rejoigne ce périmètre de décision comme les travaux de (L. Chen et al. 2018; Li et al. 2018; Zhong, Xu, Chen, et al. 2017; Zörrer et al. 2019; Y. Guo et al. 2020; X. Chen et al. 2022; He et al. 2020; Helin Yang et al. 2020; Zhang et al. 2018; Turker et al. 2019; Rathee, Garg, et al. 2021; Yao et al. 2020; Mozzaquatro et al. 2016; Rathee, Ahmad, et al. 2021; Zhong et al. 2013; Nayak, Ahmed, et Misra 2021; Santos et al. 2019)

- **Décision tactiques :**

Ce niveau de décision engage l'entreprise à moyen terme, ces décisions ont un bref effet sur l'entreprise et leur réversibilité est faible, dans notre cas ces décisions sont pour des problématiques de

conception. Certains travaux visent le périmètre de décision comme dans (Lou et al. 2021) ou la solution a pour but de trouver la meilleure conception du produit selon l'avis de trois acteurs différents, vu la réversibilité de cette décision ainsi que sur un plan temporelle d'impact de la décision, elle s'inscrit dans les décisions tactiques, d'autres travaux visent le périmètre comme (Lou et al. 2021; Saldivar et al. 2016; Mohammed et al. 2017)

- **Décision Stratégiques :**

Ce type représente le plus haut niveau de décision dans une entreprise, à très long terme, aux effets durables et a réversibilité nulle, concernant généralement des problématiques managériales d'entreprise. Dans les travaux de (Sun 2022) l'objectif de la solution est de décider de la structure d'un ensemble d'entreprise faisant parti du même groupe, cela s'inscrit bien-sûr dans un type de décision stratégique avec une décision à très long terme comme dans les travaux de (Zhai, He, et Zhu 2022; N. Kaur et Sood 2017).

La répartition de ces niveaux de décision par rapport à nos articles et tel que nous pouvons le voir dans le graphique ci-dessous :

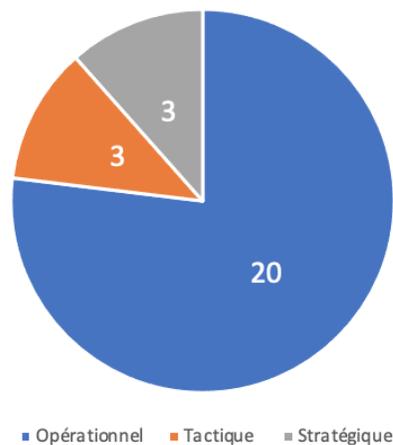


Figure 9 proportions des articles selon le niveau de décision

La majorité des systèmes de prise de décision ont un niveau de décision opérationnelle, dû à la simplicité relative des tâches opérationnelles, il est assez facile d'envisager des systèmes de prise de décision pouvant intervenir dans ce genre de décision. Par contre, pour des décisions tactiques ou stratégiques intervenant dans des tâches de conception ou des tâches de gestion de la structure de l'entreprise et de la gestion des salariés, il est plus difficile de concevoir des systèmes de prise de décision au vue des nombreuses composantes et contraintes divers pouvant intervenir dans ce type de décision, dans ce genre

de contexte, certains paramètres sont difficilement quantifiables ou interprétable de façon logique, et il peut s'avérer très difficile de simplifier certaines contraintes pour pouvoir les traduire à un algorithme. Néanmoins, certains travaux s'y sont intéressés ce qui prouve que cela reste possible.

3.1.3 Analyse par rapport au secteur industriel visé :

Certains articles se focalisent sur des secteurs industriels spécifiques, d'autres ne mentionnent pas de secteur spécifique à leur étude, nous pouvons voir les proportions des secteurs industriels visés sur le graphe ci-dessous :

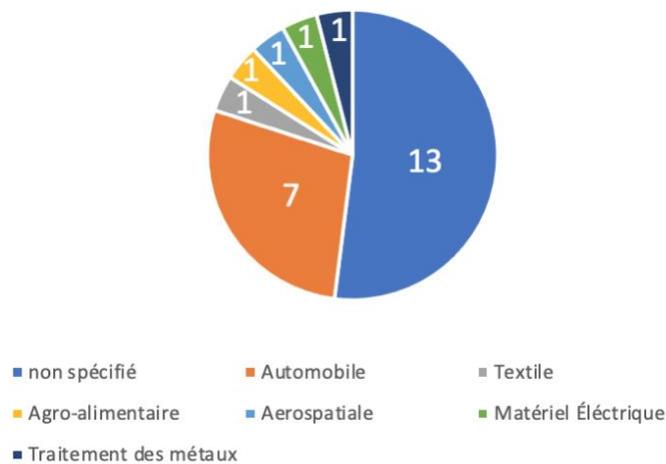


Figure 10 Proportions des articles par rapport aux secteurs industriels

Sur ce graphe nous pouvons clairement voir que le secteur visé en majorité et le secteur de l'automobile avec plus d'un quart des travaux qui y sont appliqués (Lou et al. 2021; Saldivar et al. 2016; He et al. 2020; Zhang et al. 2018; Yao et al. 2020; Zhong et al. 2013; Santos et al. 2019), puis il y a des secteurs pour lesquels très peu de travaux sont entamés nous citerons le secteur du textile (Y. Guo et al. 2020), de l'agro-alimentaire (Li et al. 2018), de l'aérospatiale (Zörrer et al. 2019), de la production de matériels électriques (Sun 2022) et de traitement des métaux (Mozzaquatro et al. 2016), un résultat intéressant et que la majorité des articles ne spécifient pas de secteur industriel d'application de la solution de prise de décision qu'ils proposent, cela nous montre qu'il n'y a pas de relation entre l'objectif du système de prise de décision ou le niveau de décision et le secteur visé des solutions de prise de décision, et nous pouvons en tirer comme conclusion que les secteurs industriels n'ont pas de solutions de prise de décision dédiés, plus de la moitié des travaux ne spécifie pas le secteur industriel car il envisageable d'appliquer la majorité des solutions de prise de décision à plusieurs secteurs industriels.

3.2 Panorama des articles par rapport à la structure IoT Industriel :

Dans ce qui suit, nous expliciterons des détails des travaux retenues concernant la structure IoT Industriel mise en place qui est nécessaire afin de pouvoir proposer une solution de prise de décision. A travers la revue des travaux retenues et d'autres articles trouvés dans la littérature, nous pouvons considérer une solution de prise de décision dans un système industriel basé sur l'IoT comme suit :

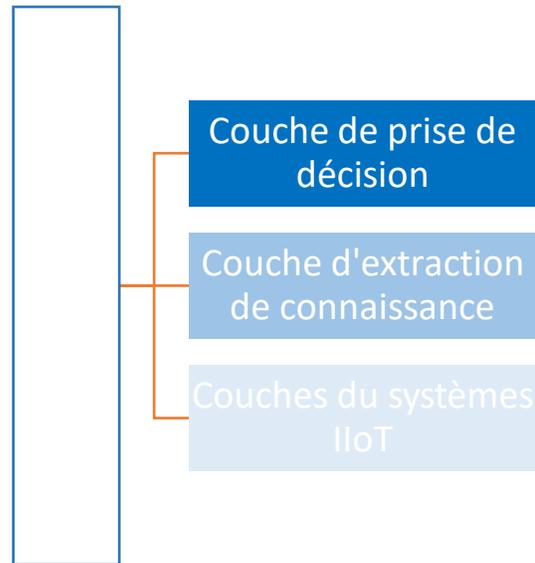


Figure 11 Les couches d'une solution de prise de décision dans un système basés sur l'IoT industriel

En effet, en nous inspirant des travaux de (J. Kaur et Kaur) Sur la répartition en couche des systèmes basés sur l'IoT Industriel dans les processus business, nous avons pu distinguer trois étapes, que nous appellerons « couches » dans l'instauration d'une solution de prise de décision dans un systèmes industriel basé sur IoT Industriel :

1. une première couche que nous dénommerons « couche du système IoT Industriel », cette couche se compose uniquement des appareils IoT (par exemple : des capteurs, puce RFID ...), et des protocoles utilisés pour la transmission de données entre les composantes IoT et vers la couche suivante. Cette couche a pour objectif de capturer les événements liés au comportement du système réel.

2. Nous aurons une deuxième couche dite « couche d'extraction de connaissance », cette couche a pour but de capter les données capturées et émises par la couche précédente, et d'ensuite procéder à leur traitement pour en extraire des informations sous forme de connaissances exploitables pour la prise de décision. Les données brutes récupérées du système IoT Industriel doivent être traitées sur plusieurs étapes avant de pouvoir être exploitables pour la prise de décision, cela passera donc par des étapes de nettoyage, de transformation, de clustérisation, de protocole de transfert de données et autres, selon le cas d'utilisation, sur certaines solutions, cette couche intervient aussi dans la phase en aval de la décision pour la restitution des résultats de décision.
3. La dernière couche dite « couche de prise de décision » représentera le système de prise de décision en lui-même, là où les connaissances extraites et produites par les couches précédentes sera exploitable pour la prise de décision.

Et donc, une solution de prise de décision basée sur IoT Industriel représente un tout, composé de ces trois couches et non pas de la dernière couche de prise de décision uniquement. Dans ce volet nous nous intéresserons aux deux premières couches, qui représentent la structure nécessaire à l'établissement d'un système de prise de décision dans notre contexte IoT Industriel. Notre objectif étant de répondre à notre deuxième question de recherche « Quelle est la structure nécessaire pour porter les systèmes de prise de décision au niveau de l'architecture industrielle basées sur l'IoT ? Quelles sont les techniques ou technologies intervenants dans cette structure ? Y a-t-il des applications réelles mises en place en industrie ? », nous passerons en revue les articles sélectionnés en mettant en avant les méthodes et technologies mises en place pour les systèmes IoT Industriel et pour l'extraction de connaissance, nous nous intéresserons aussi au type de cas d'étude entamé dans les différents travaux de notre liste pour prendre connaissance de ce qui est réalisé et réalisable pour ce genre de système.

3.2.1 Analyse par rapport aux systèmes IoT Industriel :

Les systèmes IoT Industriel varient dans notre liste d'article, certains articles détaillent le système IoT Industriel en donnant des détails sur les composants intelligents utilisés et les protocoles de communication établis, d'autres ne donnent pas autant de détails, et un nombre d'articles ne s'attardent pas à la spécification du système IoT Industriel mis en place.

Le système IIoT Industriel dans les travaux de (Ren et al. 2019) prend en compte des puces RFID en lecture et écriture, de différents types de capteurs intelligents, d'un BackBone Concentrateur Node (BcN) et des protocoles WLAN et IPv6, pour (Li et al. 2018), des puces RFID, de différents capteurs, de scanner de code barre, d'équipement DCS et d'interface Homme Machine, (Zhong, Xu, Chen, et al. 2017) inclus des puces RFID ainsi qu'un protocole ZigBee, Wifi, bluetooth et 433 Mhz, (Zörrer et al. 2019) utilise des caméras laser pour le scan de l'état des pièces avec la plus haute précision possible, (Y. Guo et al. 2020; Mohammed et al. 2017; Sun 2022; Yao et al. 2020; Zhong et al. 2013) ne spécifient que l'utilisation de puces RFID dans le système IIoT Industriel, (X. Chen et al. 2022) utilise le concept de bases de station sans fil, le système IIoT Industriel dans les travaux de (Helin Yang et al. 2020) se caractérise par la présence en hybride de protocole de communication par radio fréquence et par signal lumineux (Radio frequency, Visual light communication), et dans les travaux de (Zhang et al. 2018) nous avons des puces RFID avec différents types de capteurs pour transformer les palettes en palettes connectées, (N. Kaur et Sood 2017) intègre des capteurs de température, niveau de CO₂, fumée, humidité, puce RFID, code barre, émetteur GPS, et différents capteurs de santé, dans (Al-Jarrah et al. 2020) nous avons une technologie Nb-IIoT (Narrow Band IIoT) et un protocole LoRaWAN, (Nayak, Ahmed, et Misra 2021) intègre des protocoles réseau IPv6 via le 6LoWAN et RPL (Routing for Low Power Lossy Networks), (Santos et al. 2019) Utilise le protocole MQTT pour les IIoT Broker.

3.2.2 Analyse par rapport aux méthodes et technologies utilisées pour l'extraction de connaissance :

Plusieurs méthodes d'extraction de connaissance sont utilisées, ce que nous pouvons remarquer c'est que chaque article utilise une méthode différente et une technologie différente, à l'inverse des systèmes IIoT Industriel, tous les travaux s'attardent sur cette partie de la solution, certains articles en parlent en détails en explicitant les technologies et solutions utilisées, d'autres travaux définissent seulement la méthode qui est prise en compte dans la construction de la solution de prise de décision.

Dans (L. Chen et al. 2018) La couche d'extraction de données est établie à partir d'un système de transmission de données en nuage et le concept de Fog Computing, en récupérant les données des composantes IIoT pour les traduire via des formules mathématiques adaptées à la solution de distribution de charge sur les différents nœuds fog (Fog Nodes), (Lou et al. 2021) établit un système d'extraction de connaissance assez complexe sous forme de Framework qui récupèrent les données du PLM (Product Life-cycle Management) et analyse ces données pour en extraire les connaissances via plusieurs nœuds en nuage qui représentent les îlots IIoT du système distribués sur plusieurs zones géographiques, puis, pour permettre une traduction des données le Framework est composé de 3 parties : un système ILN pour

Intuitionistic linguistic number qui permet de quantifier les données qualitatives sous forme linguistique, les experts utilisent le NTC (Normal trapezium cloud) qui permet de récolter les données quantitatives des analyses des experts, et leur combinaison permet de réduire la divergence cognitive (Point de vue) de ces deux parties prenantes, puis nous avons les clients pour lesquels une technique de neuro-imagerie facile à utiliser et low-cost qui est le EEG, nous permet de collecter des données EEG décrivant l'état psychologique des clients à un moment spécifique, toutes ces données peuvent être transmises à la couche de prise de décision, Dans (Ren et al. 2019), les méthodes de prétraitement et de stockage des big data de fabrication sont développées pour intégrer et partager les données de fabrication dans un format de données unifié à l'aide de Framework Apache (Storm et Hadoop), et pour assurer la réutilisation des données. Pour ce faire, les étapes et les outils sont les suivants : Nettoyage de données, Intégration en utilisant des méta-modèles, réduction des données, puis transformation pour lire les patterns et prendre des décisions, pour l'exploitation et l'optimisation des bases de données contenant les données historiques et les données en temps réel deux outils sont utilisés : système d'information de gestion de la production de données basé sur des données en temps réel (RT-DGMIS) et système d'information de gestion des applications de données basé sur des données temporelles historiques (HT-DAMIS) en ajoutant à cela un modèle graphique pour l'exploration des données big data de fabrication, (Li et al. 2018) introduit une méthode qui récupère des données du système IIoT classant déjà les informations capturées sous forme d'événements de production, puis un langage descriptif unifié des modèles d'événements en utilisant le langage XML et des bases de données logiques ainsi qu'une classification et une méthode de traitement (orientée modèle) qui poussent ces informations vers la couche de prise de décision, puis enfin d'une méthode de correspondance basée sur les modèles faite sous forme d'un CEP (complex event process) Engine, qui réalise une détection active et en temps réel des événements du processus de production et à l'aide d'heuristique basée sur la recherche de corrélation permet de ressortir des éléments atomiques puis de trouver l'événement complexe correspondant en temps réel et pousse ces informations sur le système d'information sur une interface sous un format XML Socket qui sera exploitable pour la prise de décision, (Zhong, Xu, Chen, et al. 2017) propose une solution qui permet, avec les données RFID collectées dans ces ateliers, une définition des SMO (Smart Manufacturing Object qui est une interprétation des objets connectés) et de leur comportement pour effectuer une bonne représentation des données, le transfert se fait via le protocole Char en ASCII, puis un protocole spécifique est créé pour l'interprétation. Ces données sont transmises à une RFID Big Data Warehouse, puis une architecture d'analyse des Big Data est illustrée suivant les étapes suivantes : Nettoyage, Classification et agrégation afin de clustériser les données, puis compression, extraction de patterns, interprétation suivie d'une standardisation pour la représentation des résultats qui seront transmis à la couche de prise de décision, dans les travaux de (Saldivar et al. 2016) les informations extraites

du systèmes IIoT Industriel seront collectées et capitalisées via un algorithme big data axé sur le principe d'analyse et de restitution propre à la business intelligence, puis disposées sur le cloud sous forme de data warehouse faisant partie du système IIoT, les retours seront dirigés vers la couche de prise de décision qui servira à identifier les caractéristiques simple ou complexe du produit qui seront pris en compte durant la nouvelle phase de conception du produit. Ces informations seront injecté sur un moteur de conception automatisé (CAutoD ou ordinateur automatisé design engine), la couche de prise de décision servira à produire les caractéristique voulu pour notre nouvelle conception du produit, qui seront réinjecter sur le cloud, une intégration cyber physique (CPI) nous produira une conception d'un système cyber physique (CPS), à ce stade nous obtiendrons une conception virtuelle du produit qui sera ensuite transformée en un produit physique, le produit sera reconnecter au système IIoT et le système pourra reproduire les mêmes opérations pour continuellement obtenir un meilleur produit, sur (Zörrer et al. 2019) les informations récupérées par la couche IIoT Industriel sont agrégé en usant de la technologie du Edge Computing, puis transcrit dans un format hiérarchique de données (HDF5) avant d'être stockées dans une manufacturing data base (base de données de production) qui contient les conceptions CAD (Ordinateur added design) des pièces, tous cela sera ensuite récupéré par la couche de prise de décision, (Y. Guo et al. 2020) intègre, en plus du systèmes RFID, une récupération de données en usant du cloud computing pour la saisie et le suivi de la production en temps réel et à distance en intégrant un modèle dit RRDC (Capture en temps réel des données RFID), puis sur le cloud en utilisant un middleware de capture de données qui injecte dans des bases de données de production en temps réel type MySQL, MS SQL Server ou Oracle (Selon les caractéristiques des données), ces données sont transmises à une base de données de prise de décision pour la production, puis un système de suivi de la production en temps réel (RRPM) sous forme d'interface web user-friendly, est mis en place pour les responsables afin de suivre l'avancement des commandes sur chaque unité de production, (Mohammed et al. 2017) propose un système qui traduit les données provenant de la couche du systèmes IIoT Industriel sous forme de modèle de paramètre d'entrés, puis vient la formulation des critères pour ensuite injecter le tout dans un modèle de processus d'exploration de données de type CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) qui injecte les résultats dans la couche de prise de décision, dans (X. Chen et al. 2022) Le systèmes IIoT transmet les informations venant des nombreux ilots de production représentés par des base de stations sans fil connectées au réseau, qui via le cloud transmettent les données métiers relative à chaque unité de production, puis ces informations sont dirigées vers la couche de prise de décision, (He et al. 2020) a pour objectif de rapprocher le processus de prise de décision vers la couche de capture des données en usant des avantages du Edge Computing, trois composants sont intégrés dans chaque nœud edge correspondant à chaque point de capture de données dans le systèmes IIoT Industriel : une composant d'acquisition compressée des données (CS, basée sur l'additive

white Gaussian Noise), un algorithme one class SVP pour le trie de données (Anomalie, ou non anomalie), une composante pour la transmission de données basées sur le TBCC (tail-biting convolutional code), le tout est transmis dans le centre de fusion pour la décision, (Helin Yang et al. 2020) propose dans ses travaux un système de prise de décision qui reçoit les information à partir des Access point dans le système IoT Industriel qui sont traduit de manière mathématique et via un système de récompense, (Zhang et al. 2018) les données capturées en temps réelles sont transmises à un système de classification qui utilise l'état du produit, ce classement se fait en utilisant une fonction multi-objectif et multicritères, (Turker et al. 2019) dans ses travaux se focalise sur la prise de décision via la simulation et ne spécifie pas le système d'extraction de connaissance envisagé, (Rathee, Garg, et al. 2021) propose une solution de mesure des paramètres utiles à la décision à partir des données capturées par le système IoT Industriel, les paramètre sont définis au préalable et de manière spécifique pour convenir à la méthode de prise de décision et les mesures sont transmises via le Web, (N. Kaur et Sood 2017) dans ses travaux, propose une récupération puis un traitement des données via le colocation mining et une série de règles d'associations qui sont ensuite classées en trois catégories d'activité : Neutre, Positive et Négative, pour cela, un outils Big Data d'Amazon a été utilisé, Amazon EMR (Elastic map Reduce), via le Framework Apach Hadoop, (Sun 2022) pour la solution de décentralisation de la décision pour l'optimisation de l'organisation des groupes d'entreprises propose une structure Big Data pour la communication des données entre les couches du système, (Zhai, He, et Zhu 2022) utilise la technologie Block Chain pour la couche de traitement de données en utilisant protocole P2P (Point to Point) et un fournisseur de service Cloud, (Yao et al. 2020) introduit une solution où les informations capturées sont transmises à travers un protocole OPC-UA (Protocole Machine2Machine), puis stocké sur une base de données de séries chronologiques, ces information sont ensuite transmises au système OLE qui automatise les opérations relatives à l'étape de prise de décision, les données en sorties sont ensuite injectées sur un serveur Cloud (KEPServer EX), puis sont communiquée sous forme de tableau de bord (Application MES) pour visualiser en temps réel les résultats de l'optimisation et apporter un appui à la prise de décision, (Mozzaquatro et al. 2016) utilise une solution sur la plateforme C2NET qui se charge de la partie d'extraction de données et connaissances sur un modèle de prise de décision basé sur l'Ontologie, (Rathee, Ahmad, et al. 2021) se base sur un modèle cognitif d'automatisation de donnée sur le cloud pour le traitement des données et leurs préparation pour la prise de décision mais aussi pour la restitution des résultats de la prise de décision, (Al-Jarrah et al. 2020) propose dans ces travaux, une solution composée d'un CHD (Cluster Head) qui récupère les données du systèmes IoT Industriel et transmet au centre de fusion pour la décision via un canal symétrique binaire (BSC), (Zhong et al. 2013) développe une configuration des données capturées personnalisée pour la solution de prise de décision et utilise le langage XML pour la transcription des informations récupérées du systèmes IoT Industriel et

produites par le système de prise de décision, (Nayak, Ahmed, et Misra 2021) proposent une méthode basée sur les protocoles Modbus/TCP et DNP3 pour la transmission de données capturées vers la couche de prise de décision qui prend en compte comme données en entrée les données capturées. Dans les travaux de (Santos et al. 2019), un IIoT message broker pour le streaming des événements des IIoT Broker est réalisé sur la plateforme Apache KAFKA, ces événements sont stockés sur un IIoT message repository en utilisant le service MongoDB pour le stockage de données en temps réel, la sauvegarde des données se fera sur un classeur Excel qui servira aussi à créer un dashboard pour la visualisation des données.

3.2.3 Analyse par rapport aux études de cas effectuées :

Sur l'intégralité des articles de notre liste, des études de cas ont été menées pour tester et vérifier les solutions proposées dans ces travaux, nous classerons ces études de cas en trois types :

Simulations : pour les études de cas ayant effectué une simulation, par exemple via MATLAB pour tester et vérifier les indicateurs de performance théorique d'une solution proposée dans le but de les comparer à d'autres solutions à partir de données qui ne correspondent pas forcément à des données d'un système réel. Comme pour le travail de (L. Chen et al. 2018) qui propose une simulation basée sur des données arbitrairement choisies afin de tester l'efficacité de la solution, d'autres cas d'études basés sur la simulation peuvent être retrouvés dans les travaux de (Ren et al. 2019; Helin Yang et al. 2020; Turker et al. 2019; Rathee, Garg, et al. 2021; N. Kaur et Sood 2017; Zhai, He, et Zhu 2022; Rathee, Ahmad, et al. 2021; Al-Jarrah et al. 2020; Nayak, Ahmed, et Misra 2021).

Études de cas basées sur les données de systèmes réels : qui sont des simulations de la solution dans un contexte proche de la mise en production de la solution, en récupérant les données produites par un système réel pour analyser les résultats et performances des solutions de prise de décision. Dans les travaux de (Lou et al. 2021), une étude de cas est proposée basée sur les données récupérées d'un système réel produisant les composants automobiles d'antipatinage, des études de cas similaires se trouvent dans les travaux de (Zhong, Xu, Chen, et al. 2017; Saldivar et al. 2016; Mohammed et al. 2017; X. Chen et al. 2022; Zhang et al. 2018; Sun 2022; Mozzaquatro et al. 2016; Zhong et al. 2013; Santos et al. 2019).

Implémentations dans un système réel : ce qui représente les solutions qui ont été directement implémentées en production dans un contexte réel afin de mettre en place directement cette solution de prise de décision dans le système prévu à son effet. Dans les travaux de (Li et al. 2018), une implémentation directe de la solution en production a été réalisée pour démontrer l'efficacité de la solution de prise de

décision proposées. Nous retrouverons aussi des cas d'études similaires dans les travaux de (Zörrer et al. 2019; Y. Guo et al. 2020; He et al. 2020; Yao et al. 2020).

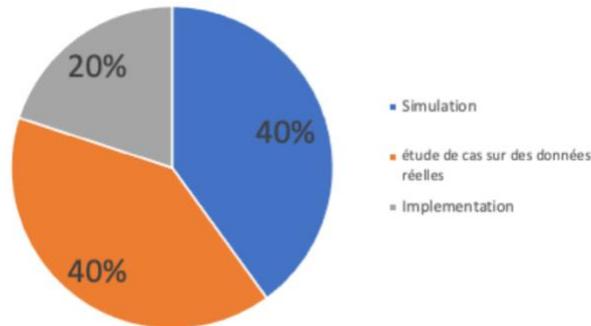


Figure 12 Proportions des articles par type d'étude de cas

Comme nous pouvons le voir, la majorité des études de cas ne sont pas des implémentations réelles. Nous pourrions dire pour certaines études de cas effectuées que les solutions proposées sont dans un cadre théorique et ne sont pas assez matures pour être appliquées dans des contextes réels, il y aurait dans ce cas une question qui se poserait concernant le niveau de maturité et la confiance qu'on pourrait accorder à ces solutions pour la prise de décision, sans oublier que certaines de ces recherches ne sont pas menées dans le cadre d'un secteur industriel spécifique ce qui expliquerait l'absence d'étude de cas dans un contexte réel pour ces travaux, d'autant plus que tous les travaux qui incluent une implémentation dans un système réel et certaines études de cas à partir de données d'un système réels, étaient toutes menées dans le cadre précis d'un secteur industriel et pour un système bien défini au début des travaux. Nous ne pouvons pas statuer sur la maturité globale d'un type de solution proposée, mais cela nous donne une vision sur ce qui est fait dans un contexte industriel réel.

3.2.4 Analyse de ces résultats :

L'analyse de nos articles selon les critères de méthodes et technologies utilisées dans les systèmes IIoT Industriel et les dispositifs d'extraction de connaissances nous permettent de répondre à nos questions de recherche. Cela nous permet d'en tirer des conclusions, la figure ci-dessous nous donne une piste sur ces conclusions potentielles :

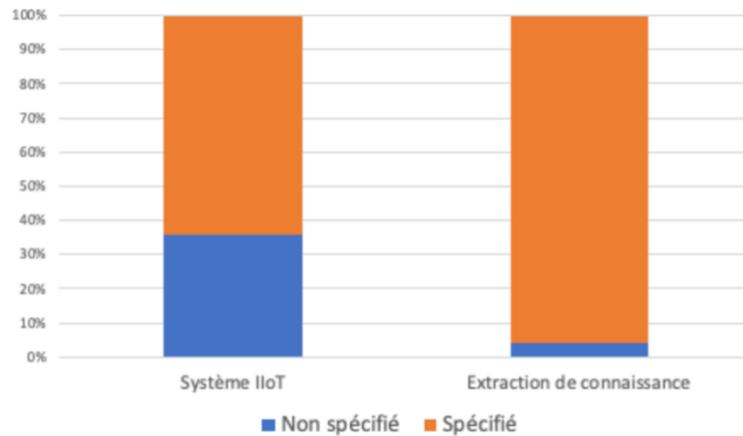


Figure 13 Proportions des articles qui spécifient ou non les méthodes, techniques ou outils utilisés pour le système IoT Industriel et extraction de connaissance

Nous remarquons une tendances sur nos articles qui indique que la majorité des articles (à une exception près) spécifient et détaillent les méthodes, techniques ou outils utilisés lorsqu'il s'agit d'extraction de données ce qui n'est pas le cas pour les systèmes IoT Industriel pris en compte (9 articles sur 25 qui ne le spécifient pas), cela est dû au fait que nous nous sommes focalisés sur les articles qui ont pour but principale la prise de décision et non l'implémentation de systèmes IoT Industriel ou d'extraction de connaissance, et nous pouvons aussi voir que pour les solutions de prise de décision dans un systèmes IoT industriel qu'il n'y a pas de relations de dépendances ou de contraintes entre les systèmes IoT industriel utilisés et la solution de prise de décision, du fait que les solution de prise de décision peuvent généralement être adaptées à plusieurs systèmes IoT industriel puisque les données capturées seront toujours traitées et traduites pour pouvoir être exploiter par la solution de prise de décision, cela est aussi mentionné dans la plupart des travaux de notre liste dans le sens où la solution de prise de décision peut s'adapter à plusieurs type d'installation IoT. À l'inverse du système d'extraction de connaissances qui lui présente une forte relation de contrainte avec la solution de prise de décision, celle-ci communiquant directement avec la couche de prise de décision pour injecter les données qui seront exploitées pour la prise de décision et pour récupérer dans certains cas les résultats de la prise de décision, et cela représente pourquoi les articles s'attardent sur cette couche d'extraction de connaissance.

3.3 Panorama des articles par rapport à la méthode de prise de décision :

L'objectif principal de ce travail est d'établir une revue des méthodes utilisées pour la prise de décision dans un contexte industriel avec des systèmes basés sur l'IoT, nous pouvons constater que plusieurs méthodes sont proposées dans les travaux que nous avons retenu.

3.3.1 Analyse des articles selon les méthodes et techniques mis en œuvre pour la prise de décision :

Afin de répondre à notre troisième question de recherche, nous avons tout d'abord identifié quatre groupes distincts regroupant chacun plusieurs méthodes du même type : les méthodes mathématiques et basées sur les heuristiques, les méthodes de data mining et big data, les méthodes utilisant l'intelligence artificielle et le machine learning ainsi qu'un dernier groupe composé de différentes méthodes qui ne sont pas classées dans les groupes précédents, cette division en groupes nous aide à avoir un panorama des méthodes utilisées pour la prise de décision, certains travaux proposent des solutions hybrides usant de plusieurs méthodes de type différents. La figure ci-dessous représente le nombre d'articles par méthode utilisée :

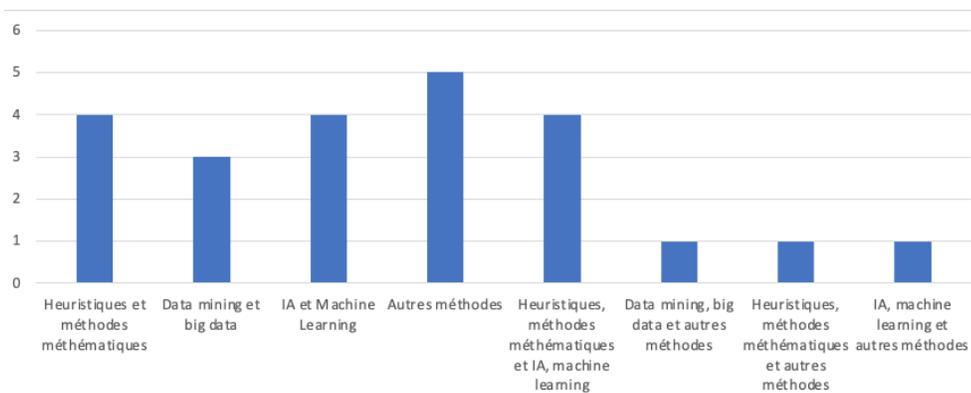


Figure 14 Nombre d'articles par méthode utilisée

- Heuristiques et méthodes mathématiques :

Ce type de méthode de prise de décision regroupe les algorithmes d'heuristiques ainsi que des solutions d'optimisation mathématiques utilisées pour la prise de décision. Généralement les travaux proposent des solutions faites sur mesure pour l'objectif ainsi que les performances visées, basées sur des heuristiques connues ou des modèles d'optimisation mathématiques de type fonctions objectif multicritères ou multi-objectif.

(L. Chen et al. 2018) propose une solution pour la distribution de charge sur les fog nodes en utilisant un algorithme appelé « Adaptive Fog Configuration » qui est un algorithme distribué en ligne basé sur des formulations mathématiques complexes pouvant être exploitées par l'optimisation de Lyapunov et le parallel Gibbs sampling pour réaliser la tâche de transfert de charge de travail en sachant Quelle charge doit-il

déplacer, quand est où le faire, dans les travaux de (Mohammed et al. 2017) les informations extraites et données sous forme de modèle CRISP passe par deux étapes, la première utilisait l'approche SO (Rathee, Garg, et al. 2021), la deuxième étapes utilise une solution développée par les auteurs, les deux étapes ont pour but de transformer le problèmes multicritère en une fonction monocritère pour trouver l'optimum de pareto, en cherchant la solution la plus proche dans le sens de la maximisation ou la plus éloignée dans le sens de la minimisation, l'objectif étant de comparer les deux approches, la solution développée par les auteurs est plus équilibrée vis-à-vis des contraintes, le temps d'exécution est légèrement plus rapide et donne des solutions plus réalistes, les optimum de Pareto sont ensuite classés à l'aide de la technique de l'ordre de préférence par similitude avec la solution idéale (TOPSIS) pour donner le meilleur compromis entre ces différents optimum et ainsi décide de la meilleure conception possible du produit, (Rathee, Garg, et al. 2021) propose un modèle identifiant les dispositifs IoT légitimes à l'aide de la méthode TOPSIS afin que le CM (Contrôle Manager) puisse identifier les rapports de détection corrects lors de la gestion de la disponibilité des enregistrements, du transfert des données sur Internet, etc. En outre, la méthode SAW (Simple additive weighting, pondération additive simple) est utilisée pour obtenir une somme pondérée de l'évaluation des performances des attributs globaux de chaque alternative. Le modèle proposé est nettement plus rapide et plus performant pour classer correctement les données transmises par les mécanismes TOPSIS et SAW, (Al-Jarrah et al. 2020) pour la fusion de la décision propose une solution développée par ses mêmes auteurs, la règle d'approximation de la vraisemblance individuelle (ILA, Individual Likelihood Approximation), qui offre une performance d'erreur de fusion quasi-optimale avec une complexité comparable aux règles sous-optimales classiques. Sur la base de la règle de fusion (FR, Fusion Rules) qui peut nous décider de la fusion optimal de la décision tout en prenant en compte les différentes contraintes.

- **Méthodes basées sur le data mining et le big data :**

Ce type de méthodes s'appuie sur les logiques qu'offre les différentes technologies du big data et du data mining pour par exemple trouver les relations entre les données ou encore profiter de l'avantage de la logique basée sur les principe de business intelligence pour la restitution de données de prise de décision. Ce type de méthode est plus utilisé à des fin d'assistance à la décision en offrant des informations cruciales à la prise de décision pour que les décideurs puissent plus facilement envisager des scénarios de décision

(Ren et al. 2019) propose un modèle d'analyse d'association amélioré, basé sur les techniques d'exploration de données en utilisant l'algorithme APriori, exploité pour identifier la fréquence des trajectoires de la livraison de matériel et les pattern redondants, en identifiant des règles d'associations implicites qui donc aides à la prise de décision en y ajoutant un modèle graphique pour l'exploration des données big data de fabrication, (Li et al. 2018) s'appuie aussi sur une solution d'exploration de donnée en

utilisant un algorithme Apriori pour la recherche de corrélation et de liaisons entre différents événements complexes et d'événements clés de production sous forme de couple de données (opération, opérateur) qui inclus trois aspects : la cause de l'événement, sa stratégie et sa logique de fonctionnement, traduite en syntaxe XEDL, (Zhong, Xu, Chen, et al. 2017) propose une architecture big data pour l'aide à la prise de décision illustrée suivant les étapes suivantes : Nettoyage, Classification et agrégation afin de clustériser les données, compression, extraction de pattern et interprétation suivi d'une standardisation pour la représentation des résultats, 'exploration d'un large groupe de données permet d'identifier des patterns ainsi que des logiques logistiques, qui pourront être exploités en fonction des KPIs de productions retenus, des propositions pour une meilleure prise de décision quant à la gestion logistique de l'atelier de production. Cette solution permet d'exploiter pleinement les données afin de visualiser les trajectoires logistiques et évaluer l'efficacité des opérateurs et des opérations logistiques par le biais de comportements et d'indicateurs clés de performance définis.

- **Méthodes basées sur l'intelligence artificielle et le machine learning :**

Ce sont les méthodes qui se servent des caractéristiques de l'intelligence artificielle et des algorithmes de machine learning pour la prise de décision. Nous pouvons y retrouver plusieurs types d'algorithmes, ne nous intéresserons pas aux caractéristiques propres aux algorithmes utilisés (Type de data set, type d'apprentissage, performances), mais seulement comment ces technologies peuvent être utilisées pour la prise de décision dans le contexte industriel des systèmes basés sur l'IoT.

(Saldivar et al. 2016) propose une couche de prise de décision dans son système incluant une classification via un algorithme simple k-means afin de clustériser les informations concernant un produit, puis un algorithme génétique servira à identifier les caractéristiques simple ou complexe du produit qui seront pris en compte durant la nouvelle phase de conception du produit, cette couche décide des caractéristiques optimales du produit pour sa conception, dans (X. Chen et al. 2022), une nouvelle méthode de contrôle par feedback avec apprentissage par renforcement pour l'équilibrage coopératif des charges RF-CLB est proposée, cela passe par la conception d'un modèle de prédiction de la valeur Q pour prédire les valeurs Q des opérations d'ajustement en combinant les algorithmes Q-learning et SVR (Régression à vecteur de Support). Ensuite, le développement d'un nouveau mécanisme de contrôle par feedback a été réalisé pour trouver le plan objectif d'équilibrage de la charge entre les bords adjacents et ainsi prendre des décisions concernant l'équilibrage des charges sur les edges du réseau, Dans (He et al. 2020), la couche de prise de décision permet la reconstruction de données reçues de la part de la couche inférieure qui se base sur les algorithmes de poursuite adaptative orthogonale, et AMP (Approximate message passing) puis un

algorithme de machine learning (Deep neuronal network DNN) sert pour entrainer le centre de décision afin que le système puisse reconnaître les données d'anomalie et prendre des choix pour activité la transmission de données, (Sun 2022) pour la réforme de la structure des entreprises, exploite un algorithme BP NN (Back propagation neural network, Réseau de neurones à propagation inverse), le réseau de neurones est configuré avec l'algorithme de descente du gradient de l'élan (The momentum gradient descent algorithm), les détails de configuration du BP NN sont illustrés dans l'article, (Nayak, Ahmed, et Misra 2021) considère l'apprentissage contradictoire du modèle pour détecter les attaques intentionnelles dans le protocole de routage dans les réseaux à faible puissance et à pertes (RPL). Cela permet d'obtenir un modèle d'apprentissage fiable. Une méthode Generative Adversarial Network-Classifieur (GAN-C) a été développée pour les événements de détection d'attaque qui est une combinaison en deux étapes des modèles GAN (Général Adversarial network) et SVM (Support vector Machine). Ce travail expose une évaluation de l'amélioration des performances du GAN-C par rapport à un classificateur autonome de type SVM (Support Vector Machine). La méthode proposée adopte un modèle d'apprentissage et de détection parallèle qui prend en charge l'apprentissage profond sur les dispositifs IIoT soumis à des contraintes de calcul.

- Autres méthodes pour la prise de décision :

Ce groupe rassemble les différentes méthodes qui n'appartiennent pas aux groupes précédent, nous pourrions y trouver des solutions basées sur la simulation de flux, d'autres sur des technologies relativement anciennes ou récentes qui ont été testées pour la prise de décision dans notre contexte d'industrie basé sur l'IoT.

Trois travaux propose des solutions de prise de décision qui s'appuient sur la simulation, (Turker et al. 2019) propose une solution basée sur la simulation de flux de production, Le DSS (Système de Support à la Décision) peut fonctionner avec toutes les règles de répartition, il est exécuté avec des règles de répartition populaires sélectionnées dans la littérature sur un modèle de simulation créé dans Arena. Lorsque le nombre de travaux en attente dans la file d'attente d'un poste de travail du job-shop atteint une valeur critique, le DSS peut modifier l'ordre des programmes dans les postes de travail précédents afin d'alimenter le poste de travail le plus rapidement possible, pour ce faire, il détermine d'abord les tâches des postes de travail précédents à envoyer au poste de travail actuel, puis trouve la tâche ayant le numéro de priorité le plus élevé selon la règle de répartition active, et enfin place cette tâche en première position dans sa file d'attente, (Santos et al. 2019) propose une solution qui relie deux monde, le virtuel et le réel à travers un jumeau numérique simulé sur Simio software qui permet l'insertion automatique et en temps réel des

données pour l'évaluation de plusieurs KPI et la définition de scénario optimaux pour la planification de la production.

(N. Kaur et Sood 2017) propose une structure basé sur la théorie des jeux, où un jeu est joué entre l'industrie et les employés en utilisant les informations d'évaluation des employés pour que l'industrie essaie de maximiser son profit en motivant les employés à travailler pour l'amélioration de l'industrie. L'évaluation des performances du système a montré que le système est capable de motiver efficacement les employés en plus d'évaluer efficacement leurs performances. Les employés se sentent motivés par le montant des incitations qu'ils reçoivent pour leur coopération avec l'industrie. L'état d'équilibre montre que la stratégie de récompense de l'industrie pour la stratégie de coopération des employés devient l'ensemble d'actions stable. Les autres profils d'action ont tendance à disparaître avec le temps. Ainsi, la relation entre l'employé et l'industrie est renforcée par l'utilisation du système.

(Zhai, He, et Zhu 2022) décrit une politique de contrôle d'accès à granularité très fine en définissant les valeurs des attributs de contrôle d'accès dans un langage formel (Java/Go) sous forme de contrat intelligent pour les systèmes AAA (Autorité d'Attribution d'autorisation) et IBC (Cryptographe basé sur l'identité), qui prend en charge les opérations logiques complexes dans la politique et améliore l'expressivité du modèle. La prise de décision de contrôle d'accès distribuée, utilisant des contrats intelligents dans la Block Chain, améliore l'efficacité du modèle de contrôle d'accès, augmente l'audit post-facto du comportement de contrôle d'accès et améliore la sécurité globale de la protection des données IIoT.

(Mozzaquatro et al. 2016) présente une architecture de cadre de sécurité basée sur l'ontologie pour les systèmes de prise de décision utilisant un modèle de sécurité adaptatif pour améliorer les questions de sécurité dans un scénario industriel. Cette solution fusionne une approche de développement basé sur les modèles et un modèle de développement basé sur l'ontologie pour développer une solution qui se base sur les connaissances et l'ontologie pour la détection de différentes anomalies et attaques afin de protéger la sécurité du système industriel basé sur l'IIoT.

(Zhong et al. 2013) propose une solution qui se base sur une méthode de résolution de problème multicritères AHP (Analyse hiérarchique des procédés) qui sera adaptée à l'architecture orientée service de l'entreprise (Entreprise SOA) pour pouvoir gérer et optimiser la planification de la production en apportant prenant en compte la décision à plusieurs niveaux hiérarchique de l'entreprise.

- **Solutions hybrides :**

Il subsiste certains articles qui proposent une solution de prise de décision mettant en jeux des méthodes et techniques de différents groupes.

(Lou et al. 2021) propose une solution pour interpréter les informations des experts produit et décideurs de l'entreprise basée sur mesure floue lambda pour clustériser et classer les avis et recommandations de la part de ces deux partie prenantes et chercher la solution optimale en utilisant une méthode basé sur l'intégrale de Choquet, à cela est ajouté un algorithme Radom Forest pour la classifications des informations récupérées de la part des clients qui ont testé le produit pour nous donner une conception optimale du produit pouvant répondre aux critères des trois acteurs mis en jeu, (Zörrer et al. 2019) propose un système de support à la décision incluant un outil de Business intelligence (QlikView) qui établit des dashboard pour visualiser les écarts de production et communique aux opérateurs si le produit est à refaire. En parallèle, l'outil de simulation de flux Tecnomatrix plant simulation qui permet la simulation des lignes de fabrication de l'entreprise, est couplé à l'interface supportant la prise de décision qui est le l'outil PPOpt (Project Planning and Optimization) de .NET based Rapid Application Development (RAD) qui permet d'aider l'opérateur a visualiser les contraintes de temps et de flux pour la reproduction des pièces et donc l'aider dans un aspect logistique dans la décision de reproduction, (Y. Guo et al. 2020) met en place un système qui peut générer des solutions de prise de décision efficaces de planification et d'ordonnancement de la production en passant par certains outils : Un sous-modèle d'optimisation intelligent multi-objectifs génère des solutions initial selon l'optimum de Pareto, puis un Algorithme génétique (Non-dominated sorting GA-II) trie et sélectionne les optimum de pareto, le sous-modèle de simulation de monte Carlo est utilisé pour évaluer la fitness des optimum de Pareto, enfin, un sous-modèle d'élagage heuristique (Heuristic preuning) est employé afin de générer l'optimum final à sélectionner pour la planification de la production, (Helin Yang et al. 2020) formule un problème décisionnel de gestion des ressources économe en énergie (sélection conjointe du réseau, affectation des sous-machines et gestion de la puissance) sous la forme d'un MDP(Markov decision process) qui reçoit les information à partir des Access point des VLC et RP, un algorithme d'apprentissage profond PDS-ERT (Post decision state experience post and replay) qui fonctionne sur le principe de l'état postérieur du système est utilisé pour apprendre la politique optimale de gestion intelligente des ressources dans les réseaux industriels hétérogènes, ce qui accélère le taux d'apprentissage et améliore l'efficacité de l'apprentissage, (Zhang et al. 2018) propose une solution en deux étapes, les données sont traité par une métaheuristique qui est l'optimisation par essais particuliers (PSO) qui donne des candidats pré-optimisés qui sont ensuite triés et sélectionnés en utilisant les ensembles Pareto optimaux qui nous donnera les scénarios finaux pour un ordonnancement de la production et une planification optimale, dans (Yao et al. 2020) le système OLE (Liaison et incorporation d'objet) automatisé lance la simulation sur un modèle fait sur le logiciel Witness, une optimisation par rapport aux KPI est faite

sur MATLAB en utilisant un Algorithme génétique, les résultats de l'optimisation sont ensuite simulés sur Witness pour vérifier les KPIs et la fitness du systèmes, dans (Rathee, Ahmad, et al. 2021), le modèle proposé classe les paramètres importants à l'aide de la méthode de prise d'analyse multicritère SAW (Simple Additive Weighting) afin que les capteurs puissent gérer efficacement le transfert de données sur Internet. En outre, la méthode de hiérarchie multicritères AHP est combinée à la méthode SAW pour simplifier les problèmes mal structurés en organisant les facteurs de décision de manière hiérarchique détaillés dans l'article. La structure proposée peut accélérer de manière significative la transmission de données et détecter correctement les données transmises par le biais de SAW et du mécanisme AHP.

3.3.2 Analyse des articles selon le type de la solution de prise de décision :

Ce que nous entendons par type de la solution de prise de décision, est la manière dont la solution de prise de décision intervient dans l'étape de décision en entreprise. (Traoré 2021) propose dans ces travaux sur la prise de décision à l'aide d'un jumeau numérique une division en deux type de système de prise de décision. Le premier type dit « Closed Loop » représente un système de prise de décision automatisé où l'information vient du système réel, est traité par le jumeau numérique qui émet la décision et l'applique au système de manière directe et sans intervention d'un opérateur ou décideur humain au préalable, le deuxième type dit « Open Loop » fait intervenir le digital twin pour traiter les données reçu du système physique afin de restituer des informations qui serviront à un opérateur ou un décideur de mieux visualiser la situations et les scénarios de décision pour qu'il puisse prendre la bonne décision, le deuxième type n'étant pas un système de prise de décision automatisé, il vise uniquement à fournir un support à l'humain pour prendre des décision et peut donner des restitutions simplifiant des prise de décision, ou encore donner des résultats sous forme de scénarios de décision possible.

Dans la liste de nos articles nous pouvons remarquer ces deux type de système de prise de décision dans les solutions proposées. Par exemple, (L. Chen et al. 2018) propose un système qui traite les informations du réseau IIoT industriel, calcul les distributions de charge optimales et l'applique de façon directe au différent nœud du système IIoT industriel, cela se fait sans la validation d'un opérateur ou un décideur humain, nous pouvons trouver ce type de prise de décision dites Closed Loop dans les travaux de (X. Chen et al. 2022; He et al. 2020; Helin Yang et al. 2020; Rathee, Garg, et al. 2021; Zhai, He, et Zhu 2022; Mozzaquatro et al. 2016; Rathee, Ahmad, et al. 2021; Nayak, Ahmed, et Misra 2021).

Quant au deuxième type de système de prise de décision, l'Open Loop, cette approche a pour but de laisser une place à l'humain dans le circuit de la décision effective, cela peut se caractériser dans plusieurs approches pour la mise en place de solution pour la prise de décision, dans (Lou et al. 2021) le système de

prise de décision peut récupérer les informations requises afin de définir les meilleures caractéristiques du produit et ainsi proposer une conception répondant au maximum aux besoins divers, néanmoins, le système en aucun cas ne lance la conception et la production du produit de par lui-même, cela passe obligatoirement par une étude et une validation de la part d'un intervenant humain, dans les travaux de (Ren et al. 2019) la solution proposée explore les données pour en tirer des pattern et relations entre différentes entité du point de vue logistique pour pouvoir permettre au décideur de mieux visualiser différentes informations comme les chemins redondants et optimaux, les pattern logistiques, ici la solution propose une restitution de données efficace afin de mettre en évidences les informations à prendre en compte pour la décision, la solution pouvant restituer des chemins optimaux, le décideur se chargera d'organiser la logistique selon les indications de la solution. Nous pouvons aussi retrouver ce type de système de prise de décision dans les travaux de (Li et al. 2018; Zhong, Xu, Chen, et al. 2017; Saldivar et al. 2016; Zörrer et al. 2019; Y. Guo et al. 2020; Mohammed et al. 2017; Zhang et al. 2018; Turker et al. 2019; N. Kaur et Sood 2017; Sun 2022; Yao et al. 2020; Al-Jarrah et al. 2020; Zhong et al. 2013; Santos et al. 2019).

Dans notre liste, nous avons 9 articles qui proposent une solution de prise de décision de type Closed Loop, et 16 autres qui proposent une solution de type Open Loop, cela nous donne une indication assez intéressent sur la façon dont on utilise les systèmes de prise de décision dans notre contexte, la majorité des solution incluses une intervention humaine pour rendre effective la décision, que ce soit à travers une simple validation ou la prise de décision en s'appuyant sur les restitutions données par le système, l'opérateur humain reste, en industrie, une partie irremplaçable dans certains cas.

Ce que nous pouvons aussi voir c'est que les solutions de type Closed Loop, donc qui n'impliquent pas l'humain sont uniquement des solutions liées aux problématiques d'optimisation du système IoT, ou de sécurité des données d'un système basé sur l'IoT, ces problématiques étant composé de tâche de décision en continue, gérant la distribution de la charge sur les nœuds IoT, l'optimisation de la transmission ou la sécurité et la protection des transferts de données, ces tâches peuvent être confiés à des méthodes automatisées s'appuient sur des algorithmes qui peuvent parfaitement effectuer ces tâches de décision de manière plus précise et plus efficace que l'humain, vu le nombres de données et la fréquence des décision à prendre. En se penchant sur la question du remplacement de la décision humaines par la décision de la machine, nous pouvons donner des pistes de réponse, en soulignant le fait que les systèmes de prise de décision ayant des objectifs sur des périmètres stratégiques ou tactiques ne pourrait pas être assez matures ou adapté pour que nous puissions déléguer le processus de décision à la machine dans son intégralité, en notant que les systèmes de prise de décision Closed Loop sont tous sur un niveau opérationnel, des tâches

plus complexes et sensibles vis-à-vis de l'impact de la décision prise par le système intègre encore pour l'instant l'intervention humaine. La machine ne remplace donc pas encore totalement l'Homme.

3.3.3 Analyse des articles selon le type de traitement de données :

Les solutions de prise de décision peuvent proposer une prise en compte, une transmission et un traitement des données récupérées du système physique en temps réel, la mise en place d'une telle caractéristique dépend de la technologies et des méthodes utilisées à tous les niveaux (couches) du système de prise de décision, un protocole au niveau de la composition IoT adéquat, une méthode d'extraction de connaissances supportant les étapes de transformation de données en temps réel et une solution de prise de décision prenant en compte les contraintes qu'implique le prise en compte des informations et la restitution des résultats dans des contraintes temporelles que cela implique, tant d'effort pour réaliser des objectifs précis, comme une solution de supervision et de planification de la production en temps réel dans les travaux de (Li et al. 2018), ou la proposition d'une distribution de charge sur les nœuds IoT suivant les données de charges en temps réel de (L. Chen et al. 2018). Cette caractéristique ajoute un dynamisme certain dans l'exécution du processus de décision dans un système industriel mais vise uniquement les problématiques opérationnelles, cela restant assez complexe à réaliser, les problématiques qui inclus ce traitement en temps réel des données reste peu complexe en terme de contraintes métiers prise en compte par la solution de prise de décision, ou encore par rapport à la méthode utilisée pour la prise de décision.

Cela étant établi, la complexité n'est pas le seul paramètre déterminant l'orientation du développement d'une solution de prise de décision pour inclure cette caractéristique de traitement en temps réel, il y a une question de besoin qui intervient dans ce cas-là, dans (Lou et al. 2021), la solution proposée par rapport à la problématique ne montre pas un avantage certain à inclure un traitement de données en temps réel, les données sont récoltées de plusieurs acteurs réparties dans différentes zones géographiques, pour une effectuer une conception optimale du produit, cet objectif ne présente pas un besoin de traitement de données en temps réel puisque la décision n'a pas à se faire en temps réel vu qu'il n'y a aucune contrainte qui pourrait obliger à intégrer cette notion dans la proposition de solution.

Un nombre de 18 articles (L. Chen et al. 2018; Ren et al. 2019; Li et al. 2018; Zhong, Xu, Chen, et al. 2017; Saldivar et al. 2016; Y. Guo et al. 2020; X. Chen et al. 2022; He et al. 2020; Zhang et al. 2018; Turker et al. 2019; Rathee, Garg, et al. 2021; Zhai, He, et Zhu 2022; Yao et al. 2020; Mozzaquatro et al. 2016; Rathee, Garg, et al. 2021; Zhong et al. 2013; Nayak, Ahmed, et Misra 2021; Santos et al. 2019) proposent des solution avec un traitement en temps réel des données, ou pouvant le supporter, Les 7 articles restants (Lou et al. 2021; Saldivar et al. 2016; Zörrer et al. 2019; Mohammed et al. 2017; N. Kaur et Sood

2017; Sun 2022; Al-Jarrah et al. 2020) n'incluent pas cet caractéristique, vraisemblablement car les problématiques abordées et les objectifs visés tel que la conception ou des problématiques concernant la gestion de l'entreprise ne nécessite pas un traitement pour une prise de décision en temps réel.

3.4 Panorama des articles par rapport à l'année de publication :

Après avoir analysé les travaux présents dans notre liste d'articles, nous avons pu voir en détails les différentes caractéristiques propres à une solution pour la prise de décision dans un système industriel basé sur l'IoT. Maintenant, avec toutes ces informations en mains, nous pouvons étudier notre dernière question de recherche « Lors des dix dernières années, y-t-il eu une tendance de recherche sur le choix des sujets et des méthodes utilisées pour traiter les problématiques liées à la prise de décision dans les systèmes industriel basés sur l'IoT ? ». Cette question a pour but de voir si l'innovation et les solutions proposées pour cette problématique suit une tendance particulière. En introduisant nos mots clés sur le site lens.org (« The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search » s. d.), nous avons pu avoir un graphique (figure ci-dessous) qui montre que ce sujet a connu une popularité grandissante en suscitant l'intérêt des chercheurs sur ces dix dernières années.

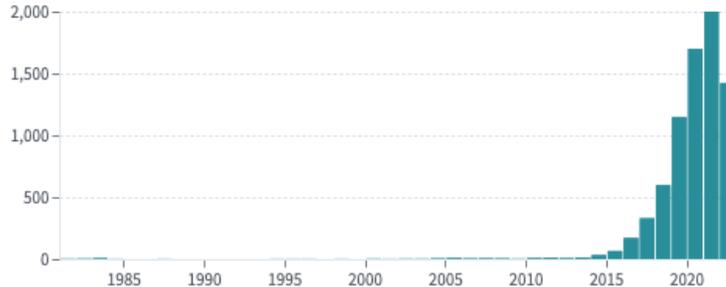


Figure 15 Nombre de publications sur notre sujet sur ces dernières années (Source : Lens.org)

Nous pouvons voir qu'entre 2010 et 2015 le nombre de publications a commencé à augmenter de façon drastique jusqu'à aujourd'hui. Sur le site nous avons pu observer une évolution des sujet traités dans ce contexte ainsi que des méthodes utilisées. Nous avons pu remarquer la même chose sur notre liste d'articles.

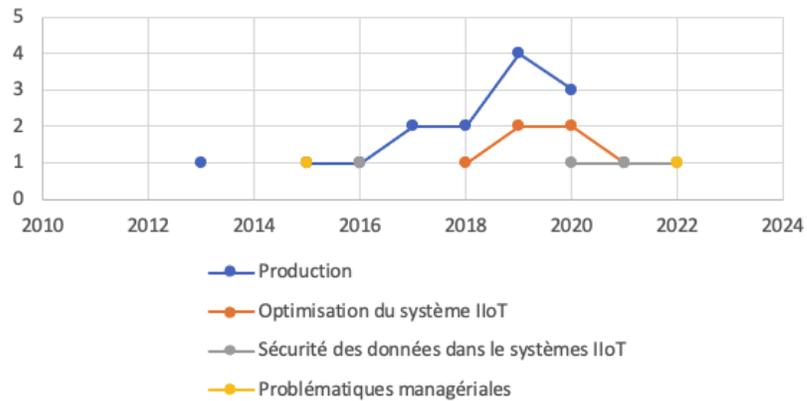


Figure 16 Le nombres d'articles visant chaque domaine d'application par rapport à l'année de publication

En étudiant le nombre d'articles visant chacune de nos catégories de domaines d'application par rapport à leur année de publication, nous pouvons voir le domaine le plus abordé sur la durée est le domaine de la production, ce domaine est le plus populaire quand il s'agit de solutions de prise de décision dans des systèmes industriels basés sur l'IoT, il représente en quelques sortes l'axe d'optimisation le plus évident pour intégrer des technologies nouvelles à des fin d'amélioration de l'activité industrielle. Nous pouvons voir aussi qu'à partir de 2014 de nouveaux domaines d'application ont émerger, les travaux ont commencé à s'intéresser à d'autres problématiques qui sont plus proches du systèmes IoT industriel, les questions d'optimisation et de sécurité des systèmes IoT industriel ont suscité de l'intérêt dans la recherche et nous pouvons voir qu'à partir de 2017 le nombre de publications sur ces problématiques ont dépassé celles s'intéressants au domaine de la production. Concernant les problématiques managériales, évoqués dans les travaux retenues au nombre de deux articles seulement, ce domaine d'application reste très difficilement abordable pour les raisons que nous avons évoqué en répondant à la troisième question de recherche, et donc nous ne pouvons pas encore statué sur la tendance de la recherche sur ce type de domaine d'application.

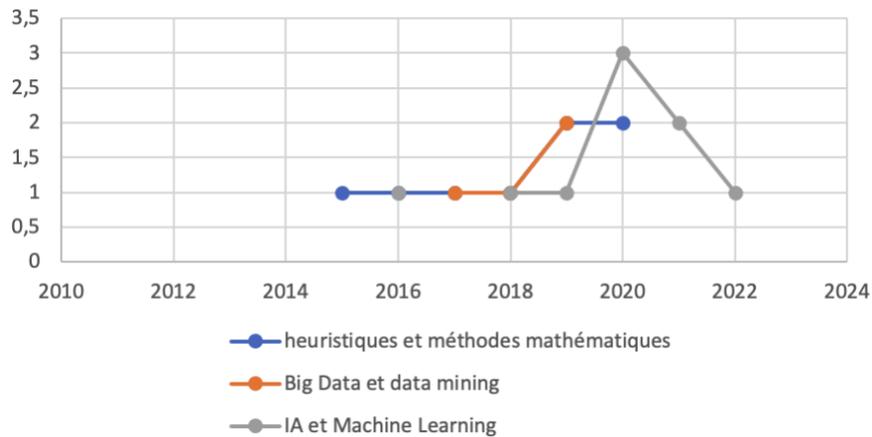


Figure 17 Le nombres d'articles proposant chaque type de solution pour la prise de décision par rapport à l'année de publication

Sur la figure ci-dessus, nous pouvons visualiser les tendances des chercheurs à proposer les différents types de méthodes pour la prise de décision dans notre contexte. Les méthodes se basant sur des heuristiques des méthodes mathématiques d'optimisations sont nombreuses et présentent sur une longue période (2014-2020), la raison est que ces méthodes sont anciennes et la plupart sont adéquates à des domaines industriels diverse comme la production ou l'optimisation des systèmes IoT, cependant, avec l'avènement de nouvelles méthodes s'appuyant sur les principes de la big data et le data mining ou encore l'intelligence artificielle et le machine learning, les travaux présents dans notre liste d'articles explorent ces nouvelles technologies pour la prise de décision à partir de l'années 2016, pour être plus exploitées sur les deux dernière années.

Ce qui intéressant dans ces résultats, c'est que ces tendances suivent presque parfaitement les tendances dans les différents secteurs de l'industrie en entreprise, ce que nous pourrions voir en consultant les différentes contributions dans ce domaine de la part des entreprises tel que IBM, Intel, Qualcomm et bien d'autres ou en se penchant sur les différentes revues ou courbes de tendances parues dans des références du monde des entreprises comme la courbe d'innovation du Gartner group (« Gartner | Delivering Actionable, Objective Insight to Executives and Their Teams » s. d.). Avant nous parlions d'optimisation des systèmes de productions, maintenant les problématiques de sécurité des systèmes portants les données de l'entreprise et d'optimisation de transfert de données ou d'optimisation des technologies utilisées tel que l'IoT sont au cœur des discussions et des perspectives d'innovations pour le monde industriel en entreprise. De même pour les méthodes utilisées pour la prise de décision avec l'avènement des technologies tel que la data science, l'intelligence artificielle et le machine learning sur ces récentes années dans le monde

industriel, et le fait que les entreprises s'y intéressent de plus en plus, en y voyant des approches intéressantes pour les problématiques diverses en industrie, prise de décision inclus, ce qui peut nous mener à croire que la direction que prend la recherche dans ce genre de problématiques est la même que celle du monde des entreprises, et donc, nous pourrions même dire que les travaux de recherches menés sur cette problématique serait éventuellement guidées par les souhaits d'innovations des entreprises, afin que la recherche puissent apporter des solutions applicables directement à des cas réelles en entreprise, ce que nous pouvons conclure de cette analyse des articles selon leurs années de parution mais aussi de certains travaux que nous avons vu qui développent des solutions pour les implémenter directement dans des systèmes réels.

CHAPITRE 4 TRAVAUX ANTÉRIEURS

4.1 Les revues de littérature systématiques antérieures :

Il existe certaines revues de la littérature qui traite du sujet des systèmes industriels basés sur l'IoT au service de la prise de décision que nous avons volontairement exclu de notre analyse pour avoir une revue de la littérature indépendante de ces travaux. Le but de cette section est de voir ce qui a été fait dans certains de ces travaux et de les comparer à notre SLR pour pouvoir visualiser clairement et dans sa globalité, la valeur ajoutée de notre travail.

(Younan et al. 2020) proposent une revue de la littérature concernant les technologies de communication d'informations dans les systèmes basés sur l'IoT industriel. 36 articles entre 2010 et 2019 sont étudiés, et l'objectif est de déterminer les différentes technologies contribuant à la communication d'information, notamment pour la prise de décision, à des fins d'extraction de connaissances ou encore de visualisation de données pour la décision. Plusieurs protocoles propres à une installation IoT sont identifiés, ainsi que plusieurs technologies pour la communication d'informations tel que le Big Data ou le machine learning.

Dans les travaux de (Paschou et al. 2020), l'objectif est de trouver le point de convergence entre les objectifs industriels et les technologies de l'information existantes ce qui a été nommé dans la recherche « Servitisation numérique » ou « Digital Servitization ». la piste suivie par les auteurs est la prise de décision et l'outil analysé est l'IoT, et plusieurs articles tirés de la source Scopus sont étudiés pour répondre à différentes questions liées aux technologies utilisées, aux secteurs industriels visés et objectifs des solutions.

(Corallo et al. 2022) propose une revue de la littérature concernant la prise de décision dans des systèmes basés sur l’IoT Industriel, cependant, la seule problématique abordée et celle de la cyber sécurité. Le travail se concentre uniquement sur les méthodes ainsi que les challenges existants concernant la prise de décision pour l’amélioration de la sécurité des systèmes IoT industriel, en prenant en compte 23 articles dans la revue de la littérature ainsi que les résultats de certains questionnaires pour identifier la place des systèmes de prise de décision dans l’IoT industriel au regard des problématiques de cyber sécurité.

(Ambika 2020) proposent dans ce travail une revue de littérature concernant les applications des méthodes de machine learning et de l’intelligence artificielle pour la prise de décision dans les systèmes basés sur l’IoT industriel. L’objectif est de donner des définitions claires pour les enjeux et problématiques s’inscrivant dans les méthodes basées sur machine learning et de l’intelligence artificielle dans ce contexte.

Les travaux de type revue de littérature systématiques ne sont pas nombreuses, et pour la plus part récentes, traite de ce sujet de différentes manière, en y réfèrent de différentes façons, chaque travail de recherche à sa propre vision de la prise de décision dans les systèmes basés sur l’IoT industriel.

CHAPITRE 5 DISCUSSION

5.1 Résultats de notre revue de la littérature :

En menant ce travail, nous avons pu approfondir nos recherches sur la problématique qu’est la prise de décision dans les systèmes basés sur l’IoT Industriel, nous avons pu répondre aux questions de recherches que nous avons posé au début de ce travail, nos trois premières questions ont été divisées en sous questions de sorte à ce qu’en répondant à chacune des sous questions nous obtenons une réponse à la question de recherche respective. Nous pouvons résumer nos résultats et la réponses à nos questions de recherche dans le tableau ci-dessous :

Questions de recherche		Réponses
RQ 1 : Quels sont les objectifs industriels visés par la mise en place de systèmes de prise de	RQ 1.1 : Quels sont les domaines d’application des solutions proposées ?	- Plusieurs domaines d’applications que nous avons pu rassembler en quatre sujets principales : production, optimisation du système IoT, sécurité des données dans le système IoT et gestion d’entreprise.

<p>décision basé sur l'IoT industriel ?</p>		<p>- La production représente le domaine d'application majoritairement présent visé par ce type de solution.</p>
	<p>RQ 1.2 : Quel est le périmètre de décision des solutions proposées ?</p>	<p>- Les solutions proposées couvrent les trois différents périmètres de décision opérationnel, tactique et stratégique. La grande majorité propose des solutions pour un périmètre de décision opérationnel, car la majeure partie des domaines d'application visés sont sur un périmètre opérationnel et il est plus complexe de proposer des systèmes de prise de décision pour des périmètres tactiques ou stratégiques au vue de la complexité du traitement de ces données.</p>
	<p>RQ 1.3 : Quels sont les secteurs industriels visés ?</p>	<p>- Plusieurs secteurs sont visés comme l'automobile en grande partie, l'industrie du textile, l'agro-alimentaire, l'aérospatial, matériels électriques et le traitement de métaux. La majorité des travaux ne spécifient pas de secteur visé pour leurs solutions, nous indiquant que plusieurs secteurs peuvent être visé par ce genre de solutions, mais aussi qu'une solution de prise de décision pour les systèmes basés sur l'IoT industriel peut être appliquée à plusieurs secteurs.</p>
<p>RQ n°2 : Quelle est la structure nécessaires pour porter les systèmes</p>	<p>RQ 1.1 : Quelles sont les méthodes et techniques qui interviennent dans cette structure ?</p>	<p>- La structure portant une solution de prise de décision dans des systèmes basés sur l'IoT industriel se compose d'une couche pour le système IoT incluant l'installation IoT (Composantes et protocoles), une couche</p>

<p>de prise de décision au niveau de l'architecture industriel basées sur l'IoT ?</p>		<p>d'extraction de connaissance qui sert à récupérer les données brutes que produit la couche du système IoT pour les traiter afin de fournir des informations utiles à la couche suivante qui est la couche de prise de décision, partie où la prise de décision prend place.</p> <p>- Une partie non négligeable des travaux sur le sujet ne spécifient pas la structure du système IoT industriel, mais détaillent toujours la couche d'extraction de connaissance. Puisque l'objectif principal de ces travaux est de proposer une solution de prise de décision, nous pouvons en conclure qu'il y a une relation directe entre cette couche et la couche de prise de décision contraignant la couche d'extraction de connaissance à être spécifique à la méthode de prise de décision, alors que la composition de la structure IoT peut ne pas être spécifique à une solution, ou dans un autre sens, qu'une méthode d'extraction de connaissance ou de prise de décision peut être appliquer à différentes structure IoT industriel.</p>
	<p>RQ 1.2 : Y a-t-il des applications réelles misent en place en industrie ?</p>	<p>- Sur les 25 articles, 5 d'entre eux réalisent des implémentations directes dans des systèmes industriels, 10 autres réalisent des étude de cas sous forme de testes basés sur des données réelles d'une entreprise, et 10 articles réalisent uniquement des simulations basés sur des données arbitrairement choisies</p>

		pour tester les performances des solutions proposées.
<p>RQ n°3 : Comment ce fait la prise de décision dans un système industriel basé sur l'IoT ? Les systèmes de prise de décision prennent des décisions indépendamment de l'intervention humaine ? La prise de décision se fait en temps réel ou pas ?</p>	<p>RQ 1.1 : Qu'elles sont les méthodes et techniques utilisées pour la prise de décision dans un système basées sur l'IoT industriel ?</p>	<p>- Nous avons identifié quatre groupe de méthodes : des méthodes basées sur des heuristiques et des méthodes mathématiques d'optimisation, des méthodes basées sur le Big Data et le Data Mining, des méthodes basées sur le Machine Learning et l'intelligence artificielle et d'autres méthodes diverse (Nous citerons la Block Chain, la méthode AHP, la simulation ...), ainsi que des travaux qui proposent des solutions hybrides intégrant différents types de méthodes dans un même système de prise de décision. Les méthode basées sur les heuristiques et les méthodes d'optimisation mathématiques ainsi que le machine learning et l'IA sont les plus utilisées pour leurs efficacités et leurs précisions. Il existe une grande diversité dans les techniques et technologies utilisées pour la prise de décision.</p>
	<p>RQ 1.2 : Quel est le type de prise de prise de décision dans les solutions proposées ?</p>	<p>- Il y a deux types de prise de décision, la première dite « Closed Loop » qui représente une solution de prise de décision automatisé, l'humain n'ayant pas à intervenir dans la boucle de décision, la solution trouve le scénario optimal et l'applique au système de manière autonome, la deuxième dite « Open Loop » fait intervenir l'humain dans la validation de la décision produite par la</p>

		<p>machine ou encore présente des données simplifiant la tâches aux décideurs pour prendre ces dites décision.</p>
	<p>RQ 1.3 : Est-ce que la prise de décision se fait en temps réel ?</p>	<p>- 18 articles proposent un traitement des données et une prise de décision en temps réel, contre 7 qui ne le proposent pas, non pas pour des raisons de complexité d'intégration d'un caractère de traitement en temps réel, mais surtout car cette caractéristique n'est ni nécessaire ni intéressante vis-à-vis des objectifs de la solution proposée.</p>
<p>RQ n°4 : Lors des dix dernières années, y-t-il eu une tendance de recherche sur le choix des sujets et des méthodes utilisées pour traiter les problématiques liées à la prise de décision dans les systèmes industriel basés sur l'IoT ?</p>		<p>- Les travaux sur le sujets ont commencer à se multiplier à partir de 2015, en suivant les tendances en entreprise.</p> <p>- vers les années 2012-2015 le domaine d'application abordé était la production, à partir de 2015 les travaux sur les autres domaines ont émergé suivant les tendances et les sujets modernes mis en avant en entreprise comme la sécurité et l'optimisation des systèmes IoT par rapport à plusieurs paramètre (consommation en énergie, efficience ...).</p> <p>- Une tendance assez similaire est présente par rapport aux type de méthodes et techniques de prise de décision utilisées, les méthode heuristiques et mathématiques étant les plus anciennes, sur les dernières années nous remarquons l'essors des méthode basées sur le Machine Learning et l'IA, les</p>

	<p>méthodes Big Data et Data mining aussi, ainsi que des méthodes aux applications très récentes comme la Block Chain.</p> <p>- Ce que nous pouvons remarquer c'est que la tendance dans la recherche est en accord avec les tendances en entreprise pour ce sujet.</p>
--	---

5.2 Comparaison avec les études antérieures et la valeur ajouté de notre travail :

Les études antérieures réalisent en grande partie une analyses des méthodes modernes utilisées dans des systèmes basés sur l'IoT industriel, en orientant leurs recherches vers une technologie précise pour la prise de décision, un domaine d'application ou encore un secteur industriel précis, ce qui guidera la recherche. Nous pouvons constater qu'il n'y a pas énormément de travaux sur ce sujet où la prise de décision est l'objectif principal et le centre de la recherche, ou des travaux dont le périmètre est uniquement les systèmes industriels basés sur l'IoT, mais élargissent cela à d'autres applications de l'IoT comme les villes intelligentes, les voitures autonomes, le domaine de la santé ou encore des services publics.

Ce manuscrit restitue une revue de littérature systématique sur les recherches dont la prise de décision est l'objectif principal, et dont le contexte est les systèmes IoT dans le secteur de l'industrie uniquement. Ce travail ne se focalise pas sur un type de solution particulier, ni une technologie particulières, l'objectif n'étant pas de viser un secteur industriel particulier, mais en restant toujours dans le cercle de l'industrie sans aborder d'autres secteurs, la liste des articles sélectionnés se compose de diverses solutions proposant plusieurs technologies pour un seul et même but principal : La prise de décision dans les systèmes industriels basés l'IoT. Ce travail représente une vue globale de ce qui se fait dans ce domaine et dans ce contexte précis, identifiant un large panel des méthodes, technologies et structures intervenantes dans ce type de solution, et cela représente la valeur ajoutée de ce projet. Contrairement aux autres travaux antérieures, notre travail rassemble un large panel de ce qui se fait sur ce sujet, en terme de méthodes et technologies comme en terme de secteurs et domaine d'applications visés, nous ne nous sommes pas limités à la méthode de prise de décision, mais avons intégré une étude sur la structure intervenant dans ce type de solution de prise de décision comme l'extraction de connaissance et la structure du système IoT. Nous nous sommes servi de plusieurs bibliothèques en ligne pour notre recherche et nous ne nous sommes pas contenter

d'une seule source afin d'élargir notre spectre de recherche. Notre analyse ne se contente pas de répondre aux questions de recherche mais pousse la réflexion un cran au-dessus en analysant les résultats que nous obtenons.

Après avoir longuement parcouru la littérature, il s'avère que ce travail est le premier de son genre sur ce sujet, une revue de littérature systématique sur les méthodes de prise de décision dans les systèmes industriels basés sur l'IoT qui ne se concentre pas sur un seul type de technologie ou un seul secteur, ou encore un domaine d'application, mais explorent tout ce qui se fait en terme de prise de décision dans l'IoT industriel sur différents plans, représentant ainsi une image de ce qui est globalement présent dans la littérature scientifique sur ce sujet.

CONCLUSION

Les problématiques de prise de décision dans un système basé sur la technologie IoT industriel dans sont très vastes et complexe à appréhender, le caractère complexe de ces systèmes font de l'implémentation d'une prise de décision efficace, une question de résolution de problème à plusieurs paramètres, contraintes et enjeux, du fait que plus les systèmes se complexifient et plus la réalisation d'une prise de décision fiable devient une question difficilement abordable, imposant des solutions idéales difficilement réalisables.

Ce travail représente une vue d'ensemble sur le sujet qui a pour objectif de recenser une partie des concepts et caractéristiques tournant autour des méthodes de prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT industriel, cela représente en même temps la valeur ajoutée principale de ce mémoire, qui à notre connaissance, la première revue de littérature systématique qui permet de s'informer sur le sujet dans le large spectre du domaine industriel sans se limiter par des secteurs, technologies spécifiques ou autres caractéristiques limitant le périmètre de recensement des recherches mener sur cette problématique.

Le fait d'avoir suivi une méthodologie basé sur le principe de la revue de littérature systématique nous a permis de poser des questions de recherche sur le sujet et par la suite, rassembler un volume conséquent de données nous permettant de répondre à nos questions et de contribuer via nos analyses, au connaissances présentes sur les travaux existants sur le sujet. Nous énoncerons parmi nos résultats :

- Les domaines d'applications industriels visés par les travaux existant, et que les problématiques tournant autour de la production sont les plus présentes dans la recherche.
- Les secteurs les plus concernés par cette problématique de prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT Industriel, en réalisant qu'une solution de prise de décision proposée dans la majorité des cas n'est pas spécifique à un secteur précis.
- Les solutions interviennent majoritairement sur un périmètre de décision opérationnel, même si certaines solutions se positionnent sur des périmètres tactiques ou stratégiques, cela nous donne une idée sur la maturité des solutions proposées en termes de fiabilité et de gestion des décisions complexes.

- Nous avons pu identifier pour les solutions de prise de décision, trois couches principales représentant la structure IIoT industriel qui capture les données pour le système d'extraction de connaissances qui transformera ces données pour les pousser vers la couche de prise de décision qui traitera ces dernières afin de procéder à la décision.
- Nous avons identifié la forte dépendance entre les méthodes d'extractions de connaissances et les techniques de prise de décision, ainsi que la faible dépendance entre la prise de décision et la structure du système IIoT industriel qui finalement n'influe pas dans le choix de la méthode de prise de décision.
- Plusieurs solutions présentent des implémentations réelles dans des systèmes industriels ou prouvent à travers des études de cas basées sur des données réelles la viabilité de ces solutions d'un point de vue opérationnelles, dépassant le cadre théorique.
- Nous avons identifié trois groupes de méthodes et techniques de prise de décision (Méthodes mathématiques et heuristiques, méthodes basées sur le Big Data et le Data Mining et les méthodes basées sur l'IA et le Machine Learning) ainsi qu'un groupe de divers méthodes se basant sur des technologie récentes telles que la Block Chain, la simulation dans le contexte de l'industrie 4.0 pour ne citer qu'eux.
- Nous avons relevé le point de la diversité des méthodes de prise de décision dans un même domaine d'applications industriel ou secteur, nous permettant de voir qu'une méthode de prise de décision n'est pas forcément spécifique à un seul objectif industriel.
- Nous avons pu voir l'implication du facteur humain dans les solutions proposées à travers les deux concepts de « Close Loop » et « Open Loop », avec une majorité des solution qui proposent une solution incluant la décision humaine dans le processus de prise de décision en l'assistant, solution dite « Open Loop ».
- Nous avons pu étudier la question du traitement des données en temps réel des solutions de prise de décision pour conclure que cela est loin d'être impossible, mais n'est pas tout le temps pertinent à intégrer.
- Nous avons pu faire une analyse des articles selon leurs années de publication, dans un premier temps, par rapport aux méthodes de prise de décision utilisées, et dans un deuxième

temps, par rapport aux problématiques industrielles abordées, pour en conclure que les travaux sur ce sujet dans la littérature suivent les tendances industrielles tel que perçues dans le monde professionnel des entreprises, ce qui est un bon indicateur de la contribution scientifique pour les besoins des entreprises.

LIMITES :

Comme nous l'avons énoncé plus haut, notre travail se veut être le premier SLR de son genre à aborder de manière générale ce sujet, fournissant une vue d'ensemble sur une bonne partie des caractéristiques des méthodes de prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT industriel, nous pouvons dire que l'objectif de ce projet reste très ambitieux par rapport au temps imparti pour sa finalisation, quelques manquements peuvent être relevés quant à l'approfondissement de l'étude de certains concepts abordés. Bien-sûr, cela pourrait ne pas être inédit comme accomplissement, mais après une longue recherche dans la littérature, aucun travail similaire n'a été trouvé. La liste des travaux sélectionnés pour notre étude n'est pas exhaustive de tout ce que nous pouvons trouver dans la littérature, il en est de même pour les caractéristiques des méthodes de prise de décision abordées durant ce travail, au vu de l'ambition de ce travail. Même si la définition des mots clés s'est faite sur plusieurs essais et itérations, la recherche basée sur les mots clés sélectionnés reste à parfaire au vu des nombreux termes utilisés pour désigner l'IoT industriel, ainsi que le concept de prise de décision qui varie selon la définition des travaux.

PERSPECTIVES :

Nous avons pu atteindre nos objectifs de recherche, néanmoins, la problématique reste extrêmement vaste, et les questions à approfondir très nombreuses. De nombreuses hypothèses quant aux travaux futurs succédant à ce mémoire peuvent être envisagées, par exemple en approfondissant sur certaines caractéristiques des solutions de prise de décision « Est-ce que les solutions de prise de décisions dans les systèmes basés sur l'IoT industriel sont basées sur les modèles, les données ou les connaissances (Les trois types : model-based, data-based, et knowledge-based) ? » et la comparaison au niveau de leurs structures, et de leurs performances, ce qui n'est pas un sujet abordé dans la littérature. Nous pouvons trouver plusieurs travaux comparant les performances des solutions de prise de décision d'un même type, nous pourrions alors voir, si pour un même domaine d'application industriel nous pourrions comparer plusieurs types de méthodes de prise de décision, par exemple en comparant les méthodes basées sur les heuristiques et les méthodes modernes basées sur l'intelligence artificielle et le Machine Learning.

La majorité des solutions proposées sont sur un axe principal qui est l'optimisation, nous pourrions chercher dans la littérature s'il existe des solutions de prise de décision dans les systèmes basés sur l'IIoT industriel qui visent d'autres objectifs tel que la résolution de conflits. Une étude plus approfondie sur la faisabilité et l'efficacité de ces solutions sur des périmètres de décision plus sensibles (tactiques et stratégiques) pourrait être intéressante.

L'une des premières questions qui se démarque en parlant de ce sujet est « Est-ce que ces recherches ont pour objectif de remplacer l'humain dans sa fonction de prise de décision au sein de l'industrie ? » Nous pourrions alors, dans ce contexte, aborder la question de la remplaçabilité de l'humain par la machine dans ces tâches de prise de décision.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Jarrah, Mohammad A., Maysa A. Yaseen, Arafat Al-Dweik, Octavia A. Dobre, et Emad Alsusa. 2020. « Decision Fusion for IoT-Based Wireless Sensor Networks ». *IEEE Internet of Things Journal* 7 (2): 1313-26. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2954720>.
- Ambika, P. 2020. « Machine Learning and Deep Learning Algorithms on the Industrial Internet of Things (IIoT) ». In *Advances in Computers*, 117:321-38. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.10.007>.
- Atharvan, Gannu, Sreelakshmi Koolikkara Madom Krishnamoorthy, Amit Dua, et Shashank Gupta. 2022. « A Way Forward towards a Technology-driven Development of Industry 4.0 Using Big Data Analytics in 5G-enabled IIoT ». *International Journal of Communication Systems* 35 (1). <https://doi.org/10.1002/dac.5014>.
- Chen, Lixing, Pan Zhou, Liang Gao, et Jie Xu. 2018. « Adaptive Fog Configuration for the Industrial Internet of Things ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 14 (10): 4656-64. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2846549>.
- Chen, Xing, Junqin Hu, Zheyi Chen, Bing Lin, Naixue Xiong, et Geyong Min. 2022. « A Reinforcement Learning-Empowered Feedback Control System for Industrial Internet of Things ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 18 (4): 2724-33. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3076393>.
- Corallo, Angelo, Mariangela Lazoi, Marianna Lezzi, et Angela Luperto. 2022. « Cybersecurity Awareness in the Context of the Industrial Internet of Things: A Systematic Literature Review ». *Computers in Industry* 137 (mai): 103614. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103614>.
- Danjou, Christophe, Louis Rivest, et Robert Pellerin. s. d. « Industrie 4.0 : des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité », 27.
- Davis, Jim, Thomas Edgar, James Porter, John Bernaden, et Michael Sarli. 2012. « Smart Manufacturing, Manufacturing Intelligence and Demand-Dynamic Performance ». *Computers & Chemical Engineering* 47 (décembre): 145-56. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.037>.
- « Gartner | Delivering Actionable, Objective Insight to Executives and Their Teams ». s. d. Gartner. Consulté le 5 septembre 2022. <https://www.gartner.com/en>.
- Guo, Yuan, Nan Wang, Ze-Yin Xu, et Kai Wu. 2020. « The Internet of Things-Based Decision Support System for Information Processing in Intelligent Manufacturing Using Data Mining Technology ». *Mechanical Systems and Signal Processing* 142 (août): 106630. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106630>.
- Guo, Z.X., E.W.T. Ngai, Can Yang, et Xuedong Liang. 2015. « An RFID-Based Intelligent Decision Support System Architecture for Production Monitoring and Scheduling in a Distributed Manufacturing Environment ». *International Journal of Production Economics* 159 (janvier): 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.004>.
- He, Jiguang, Long Kong, Tero Frondelius, Olli Silven, et Markku Juntti. 2020. « Decision Triggered Data Transmission and Collection in Industrial Internet of Things ». In *2020 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 1-5. Seoul, Korea (South): IEEE. <https://doi.org/10.1109/WCNC45663.2020.9120749>.
- Herterich, Matthias M., Falk Uebernickel, et Walter Brenner. 2015. « The Impact of Cyber-Physical Systems on Industrial Services

in Manufacturing ». *Procedia CIRP* 30: 323-28. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.110>.

Hoffmann Souza, Marcos Leandro, Cristiano André da Costa, Gabriel de Oliveira Ramos, et Rodrigo da Rosa Righi. 2020. « A Survey on Decision-Making Based on System Reliability in the Context of Industry 4.0 ». *Journal of Manufacturing Systems* 56 (juillet): 133-56. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.016>.

« Industry 5.0 ». s. d. Consulté le 19 septembre 2022. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industry/industry-50_en.

Ireland, R. Duane, et C. Chet Miller. 2004. « Decision-Making and Firm Success ». *Academy of Management Perspectives* 18 (4): 8-12. <https://doi.org/10.5465/ame.2004.15268665>.

Kaur, Jaideep, et Kamaljit Kaur. s. d. « Availing Internet of Things in Industrial Decision Making -A Survey », 5.

Kaur, Navroop, et Sandeep K. Sood. 2017. « A Game Theoretic Approach for an IoT-Based Automated Employee Performance Evaluation ». *IEEE Systems Journal* 11 (3): 1385-94. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2469102>.

Kitchenham, Barbara. s. d. « Procedures for Performing Systematic Reviews », 34.

Lee, Jay, Behrad Bagheri, et Hung-An Kao. 2015. « A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems ». *Manufacturing Letters* 3 (janvier): 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.

Li, Shaobo, Weixing Chen, Jie Hu, et Jianjun Hu. 2018. « ASPIE: A Framework for Active Sensing and Processing of Complex Events in the Internet of Manufacturing Things ». *Sustainability* 10 (3): 692. <https://doi.org/10.3390/su10030692>.

Lou, Shanhe, Yixiong Feng, Zhiwu Li, Hao Zheng, Yicong Gao, et Jianrong Tan. 2021. « An Edge-Based Distributed Decision-Making Method for Product Design Scheme Evaluation ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17 (2): 1375-85. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2983979>.

Lu, Yuqian, Xun Xu, et Lihui Wang. 2020. « Smart Manufacturing Process and System Automation – A Critical Review of the Standards and Envisioned Scenarios ». *Journal of Manufacturing Systems* 56 (juillet): 312-25. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>.

Mohammed, Ahmed, Qian Wang, Saleh Alyahya, et Nick Bennett. 2017. « Design and Optimization of an RFID-Enabled Automated Warehousing System under Uncertainties: A Multi-Criterion Fuzzy Programming Approach ». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 91 (5-8): 1661-70. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9792-9>.

Mozzaquatro, Bruno A., Raquel Melo, Carlos Agostinho, et Ricardo Jardim-Goncalves. 2016. « An Ontology-Based Security Framework for Decision-Making in Industrial Systems »: In *Proceedings of the 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 779-88. Rome, Italy: SCITEPRESS - Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0005853107790788>.

Munirathinam, Sathyan. 2020. « Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT) ». In *Advances in Computers*, 117:129-64. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.10.010>.

Nayak, Sharmistha, Nurzaman Ahmed, et Sudip Misra. 2021. « Deep Learning-Based Reliable Routing Attack Detection Mechanism for Industrial Internet of Things ». *Ad Hoc Networks* 123 (décembre): 102661. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102661>.

Nguyen, H, K Tran, X Zeng, L Koehl, P Castagliola, et Pascal Bruniaux. s. d. « Industrial Internet of Things, Big Data, and Artificial

Intelligence in the Smart Factory: A Survey and Perspective », 6.

O'Donovan, P., K. Leahy, K. Bruton, et D. T. J. O'Sullivan. 2015. « An Industrial Big Data Pipeline for Data-Driven Analytics Maintenance Applications in Large-Scale Smart Manufacturing Facilities ». *Journal of Big Data* 2 (1): 25. <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0034-z>.

Paschou, T., M. Rapaccini, F. Adrodegari, et N. Saccani. 2020. « Digital Servitization in Manufacturing: A Systematic Literature Review and Research Agenda ». *Industrial Marketing Management* 89 (août): 278-92. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.02.012>.

Publisher, Authors removed at request of original. 2015. « 11.3 Understanding Decision Making », octobre. <https://open.lib.umn.edu/principlesmanagement/chapter/11-3-understanding-decision-making/>.

Rathee, Geetanjali, Farhan Ahmad, Razi Iqbal, et Mithun Mukherjee. 2021. « Cognitive Automation for Smart Decision-Making in Industrial Internet of Things ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17 (3): 2152-59. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3013618>.

Rathee, Geetanjali, Sahil Garg, Georges Kaddoum, et Bong Jun Choi. 2021. « Decision-Making Model for Securing IoT Devices in Smart Industries ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17 (6): 4270-78. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3005252>.

Ren, Shan, Xibin Zhao, Binbin Huang, Zhe Wang, et Xiaoyu Song. 2019. « A Framework for Shopfloor Material Delivery Based on Real-Time Manufacturing Big Data ». *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10 (3): 1093-1108. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-1017-7>.

Saldívar, Alfredo Alan Flores, Cindy Goh, Yun Li, Yi Chen, et Hongnian Yu. 2016. « Identifying Smart Design Attributes for Industry 4.0 Customization Using a Clustering Genetic Algorithm ». In *2016 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 408-14. Colchester, United Kingdom: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAC.2016.7604954>.

Santos, Romão, João Basto, Symone G S Alcalá, Enzo Frazzon, et Américo Azevedo. 2019. « Industrial IoT Integrated with Simulation – A Digital Twin Approach to Support Real-Time Decision Making », 14.

Saturno, M., V. Moura Pertel, F. Deschamps, et E. De Freitas Rocha Loures. 2018. « PROPOSAL OF AN AUTOMATION SOLUTIONS ARCHITECTURE FOR INDUSTRY 4.0 ». *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, n° icpr (mars). <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17675>.

Selim, Hasan, et Irem Ozkarahan. 2008. « A Supply Chain Distribution Network Design Model: An Interactive Fuzzy Goal Programming-Based Solution Approach ». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36 (3-4): 401-18. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0842-6>.

Sun, Kaiyang. 2022. « Analysis of Production and Organisational Management Efficiency of Chinese Family Intelligent Manufacturing Enterprises Based on IoT and Machine Learning Technology ». *Enterprise Information Systems* 16 (2): 208-22. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1712745>.

« The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search ». s. d. The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. Consulté le 5 septembre 2022. <https://www.lens.org/lens>.

Traoré, Mamadou K. 2021. « Unifying Digital Twin Framework: Simulation-Based Proof-of-Concept ». *IFAC-PapersOnLine* 54 (1): 886-93. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.105>.

- Turker, Ahmet, Adnan Aktepe, Ali Inal, Olcay Ersoz, Gulesin Das, et Burak Birgoren. 2019. « A Decision Support System for Dynamic Job-Shop Scheduling Using Real-Time Data with Simulation ». *Mathematics* 7 (3): 278. <https://doi.org/10.3390/math7030278>.
- Vogel-Heuser, Birgit, et Dieter Hess. 2016. « Guest Editorial Industry 4.0–Prerequisites and Visions ». *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 13 (2): 411-13. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2523639>.
- « VOSviewer - Visualizing Scientific Landscapes ». s. d. VOSviewer. Consulté le 7 septembre 2022. <https://www.vosviewer.com/>.
- Walsh, Michael R. 1993. « Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources ». *Journal of Water Resources Planning and Management* 119 (2): 158-69. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:2\(158\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:2(158)).
- Wang, Feng, Liang Hu, Jiejun Hu, Jin Zhou, et Kuo Zhao. 2017. « Recent Advances in the Internet of Things: Multiple Perspectives ». *IETE Technical Review* 34 (2): 122-32. <https://doi.org/10.1080/02564602.2016.1155419>.
- Xu, Xun, Yuqian Lu, Birgit Vogel-Heuser, et Lihui Wang. 2021. « Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, Conception and Perception ». *Journal of Manufacturing Systems* 61 (octobre): 530-35. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
- Yang, Helin, Arokiaswami Alphones, Wen-De Zhong, Chen Chen, et Xianzhong Xie. 2020. « Learning-Based Energy-Efficient Resource Management by Heterogeneous RF/VLC for Ultra-Reliable Low-Latency Industrial IoT Networks ». *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 16 (8): 5565-76. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2933867>.
- Yang, Hui, Soundar Kumara, Satish T.S. Bukkapatnam, et Fugee Tsung. 2019. « The Internet of Things for Smart Manufacturing: A Review ». *IISE Transactions* 51 (11): 1190-1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>.
- Yao, Fengjia, Bugra Alkan, Bilal Ahmad, et Robert Harrison. 2020. « Improving Just-in-Time Delivery Performance of IoT-Enabled Flexible Manufacturing Systems with AGV Based Material Transportation ». *Sensors* 20 (21): 6333. <https://doi.org/10.3390/s20216333>.
- Younan, Mina, Essam H. Houssein, Mohamed Elhoseny, et Abdelmgeid A. Ali. 2020. « Challenges and Recommended Technologies for the Industrial Internet of Things: A Comprehensive Review ». *Measurement* 151 (février): 107198. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107198>.
- Zhai, Peng, Jingsha He, et Nafei Zhu. 2022. « Blockchain-Based Internet of Things Access Control Technology in Intelligent Manufacturing ». *Applied Sciences* 12 (7): 3692. <https://doi.org/10.3390/app12073692>.
- Zhang, Yingfeng, Sichao Liu, Yang Liu, Haidong Yang, Miao Li, Donald Huisingh, et Lihui Wang. 2018. « The 'Internet of Things' Enabled Real-Time Scheduling for Remanufacturing of Automobile Engines ». *Journal of Cleaner Production* 185 (juin): 562-75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.061>.
- Zhong, Ray Y., Z. Li, L.Y. Pang, Y. Pan, T. Qu, et George Q. Huang. 2013. « RFID-Enabled Real-Time Advanced Planning and Scheduling Shell for Production Decision Making ». *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 26 (7): 649-62. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749532>.
- Zhong, Ray Y., Chen Xu, Chao Chen, et George Q. Huang. 2017. « Big Data Analytics for Physical Internet-Based Intelligent Manufacturing Shop Floors ». *International Journal of Production Research* 55 (9): 2610-21. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1086037>.
- Zhong, Ray Y., Xun Xu, Eberhard Klotz, et Stephen T. Newman. 2017. « Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0:

A Review ». *Engineering* 3 (5): 616-30. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.

Zörrer, Helmut, Robert Steringer, Sebastian Zambal, et Christian Eitzinger. 2019. « Using Business Analytics for Decision Support in Zero Defect Manufacturing of Composite Parts in the Aerospace Industry ». *IFAC-PapersOnLine* 52 (13): 1461-66. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.405>.

Zuehlke, Detlef. 2010. « SmartFactory—Towards a Factory-of-Things ». *Annual Reviews in Control* 34 (1): 129-38. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2010.02.008>.

RÉSUMÉ

L'évolution de l'industrie 4.0 suit une courbe de complexité ascendante dans le sens de la composition des systèmes dans ce contexte. Les systèmes basés sur ces concepts modernes mettent en jeu plusieurs paramètres et contraintes, des fois très complexes à prendre en compte et à traduire pour des tâches telles que la prise de décision, une tâche très sensible qui concerne des problématiques diverses et variées, et qui doit toujours faire preuve d'une fiabilité sans faille au vu des enjeux sur lesquelles elle intervient. Dans ce travail, nous allons dresser une revue systématique de la littérature s'intéressant à différentes caractéristiques des méthodes de prise de décision dans des systèmes basés sur l'un des piliers de l'industrie 4.0, l'internet industrielle des Objets (IoT industriel), nous explorerons les travaux disponibles sur ce sujet afin d'étudier les différentes caractéristiques des solutions proposées, ainsi que les enjeux qui tournent autour. Les technologies et méthodes utilisées pour la prise de décision dans les systèmes basés sur l'IoT industriel, les caractéristiques techniques et fonctionnelles des solutions proposées dans la littérature, ainsi que la structure portant ce type de solutions, les secteurs et domaines d'application industriels visés, cette étude répondra à plusieurs questions de recherches avec l'objectif de réaliser une vue d'ensemble sur le sujet pour toute personne voulant s'approfondir sur le sujet.