



Université de Constantine 3  
Faculté d'architecture et d'urbanisme  
Département de management de projet

VERS UN MODELE DE MATURITE DES ENTREPRISES INTEGRANT LE LEAN 4.0

THESE

Présentée pour l'Obtention du  
Diplôme de Doctorat L.M.D en architecture et urbanisme  
en Management de projet

Par  
Nedjwa ELAFRI

Année universitaire  
2020-2021





Université de Constantine 3  
Faculté d'architecture et d'urbanisme  
Département de management de projet

N° de Série :

N° d'Ordre :

VERS UN MODELE DE MATURITE DES ENTREPRISES INTEGRANT LE LEAN 4.0

THESE

Présentée pour l'Obtention du

Diplôme de Doctorat L.M.D en architecture et urbanisme

En management de projet

Par

Nedjwa ELAFRI

Devant le jury composé de :

DEKOUMI Djamel	Président	Pr	Université de Constantine 3
SASSI BOUDEMAGH Souad	Directrice de thèse	Pr	Université de Constantine 3
ROSE Bertrand	Co-Directeur de thèse	Pr	Université de Strasbourg
BELHADJ MOSTEFA Slimane	Examineur	Dr	Université de Constantine 3
BAKOUR Mohamed	Examineur	Dr	Université de L'EPAU Alger
MESSAOUDI Karima	Examinatrice	Pr	Université de Skikda

2020-2021

*“Dans le passé, pour vivre dans des sociétés d'une complexité croissante, il nous fallait accroître notre humanité, maintenant, il nous suffit d'accroître la technologie.”*

Edward Bond

*"Quoi que tu rêves d'entreprendre, commence-le.*

*L'audace a du génie, du pouvoir, de la magie."*

Johann Wolfgang von Goethe

## REMERCIEMENTS

*« Les mots manquent aux émotions. »*

Victor Hugo

**L**a thèse est une expérience de vie singulière, d'autant plus, lorsqu'elle est réalisée en pleine crise sanitaire. Elle prend forme dans un manuscrit inerte, qui peut même paraître austère. Mais, et c'est là tout le paradoxe, elle n'est en rien un travail froid et un voyage en solitaire. La thèse est un projet d'hommes et de femmes, de rencontres, d'interactions et d'ouverture sur le monde. Sans cela, il est évident que je n'aurais pu réaliser un tel travail. Toute sa richesse réside dans ses innombrables contributeurs, qu'ici, je vais tenter de remercier à hauteur de ce qu'ils m'ont apporté.

Pour commencer, mes remerciements s'adressent sans nul doute à mes deux directeurs de thèse, SASSI BOUDEMAGH Souad, ROSE Bertrand, pour leur accompagnement, leur indéfectible soutien, et leur aide si précieuse. J'ai grandi tout au long de cette thèse grâce à leur confiance, leur exigence, et leur bienveillance. Je souhaite témoigner toute ma reconnaissance à SASSI BOUDEMAGH Souad, qui n'a eu de cesse de me guider depuis ma première année de doctorat et qui, avec audace et panache s'est lancé dans ce projet de thèse à mes côtés. Je tiens également à remercier très sincèrement Bertrand Rose, pour le temps qu'il m'a accordé, sa confiance, l'intérêt porté au sujet de recherche, et son regard depuis mon arrivée en France, qui m'a permis de questionner mes idées afin de prendre du recul à chacun de nos échanges. Après, ma thèse n'était plus la même pour ses précieux conseils, sa disponibilité, son humour et son enthousiasme à toute épreuve. Je ne peux oublier de mentionner nos débats virtuels, Covid oblige, durant lesquels nos raisonnements étaient parfois bousculés pour mieux avancer. Cette thèse me permet de leur témoigner ma plus profonde gratitude.

Ensuite, je tiens à remercier très chaleureusement le président de jury Mr. DEKOUMI D, et Mr BELHADJ MOSTEFA S, Mr BAKOUR M. Et Mme MESSAOUDI K qui m'honorent de leur présence en tant que membres du jury de thèse, et pour le temps consacré à la relecture de ce travail de thèse.

Je remercie pour son écoute attentive et son aide, DR BEB Messaouda ma belle-mère, qui a pris le flambeau de l'encadrement, qui n'a eu de cesse de m'encourager et de me soutenir, une passionnée et convaincue que l'innovation est avant tout une histoire de femmes et d'hommes. Sans son audace et son aide, cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

Je suis aussi très reconnaissante vis-à-vis de toute personnes de l'université de Constantine 3, que j'ai sollicité durant ces trois années et qui ont répondu présent, et m'ont accompagné pendant mon stage en France.

Ma reconnaissance s'adresse à l'équipe CSIP du laboratoire ICUBE à Strasbourg, de m'avoir accueillie, J'ai eu la chance d'en côtoyer durant cette année. Je souhaite ici la remercier sincèrement.

Merci à mes collègues et camarades d'avoir été présents à mes côtés dans les bons moments comme les moments de doutes.

Enfin, les mots me manquent, tant ma reconnaissance est immensément grande, alors je vais modestement tenter de l'écrire. J'adresse toute mon affection à mon compagnon de route, et mon fiancé Anis Oussama, qui a eu la gentillesse de ne jamais me demander « tu finis quand ta thèse ? » mais qui a rendu merveilleux les quelques moments d'évasion loin du manuscrit. Merci à Norhane, Roumeissa, Jordan, Rabih, et Abdallah leur aide fût précieuse.

Pour terminer, je remercie du fond du cœur, ma famille et ma belle-famille, vous êtes mes piliers et mon énergie, votre force, votre joie, votre humour m'ont accompagné durant ces trois années, votre patience a souvent été mise à l'épreuve, mais vous n'avez jamais douté de moi. Je suis une femme chanceuse.

La thèse est bien loin d'être un voyage en solitaire et elle est une aventure extraordinaire...



# TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	xviii
RESUME.....	vii
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1    Introduction.....	1
1.2    Le contexte de la recherche.....	1
1.3    Motivation de la recherche.....	2
1.4    La question de la recherche et les objectifs.....	4
1.4.1    La question de la recherche.....	4
1.4.2    Les objectifs de la recherche.....	4
1.5    Contribution à l'ensemble des connaissances.....	4
1.6    La structure de la thèse.....	5
2    CHAPITRE II : LE LEAN MANAGEMENT.....	6
2.1    Introduction.....	6
2.2    Definition.....	6
2.2.1    Synthèse.....	8
2.3    Généalogie du Lean management.....	8
2.4    Principes de base du Lean : la réduction du gaspillage (7 Mudas).....	15
2.4.1    la surproduction.....	15
2.4.2    L'attente.....	16
2.4.3    Transport.....	16
2.4.4    Surproduction ou traitement inutile.....	16
2.4.5    Surstockage ou stock inutile.....	16
2.4.6    Mouvement inutile.....	17
2.4.7    Défaut.....	17
2.5    Les Principes du Lean management.....	17
2.6    La bibliométrie du Lean management.....	20
2.7    Description de la méthodologie de l'étude bibliométrique.....	21
2.7.1    Les publications par an.....	22
2.7.2    Domaines d'application du Lean management.....	23
2.7.3    Citations des auteurs.....	24

2.7.4	La distribution géographique des publications qui traitent le Lean management dans le monde.....	26
2.7.5	Analyse des mots clés.....	28
2.8	Les outils du Lean management.....	30
2.9	Déploiement du Lean : enjeux et limites.....	34
2.10	Les facilitateurs et les obstacles du déploiement du Lean management .....	34
2.10.1	La revue de la littérature des facilitateurs et les obstacles du déploiement du Lean management .....	34
2.11	Conclusion.....	38
3	CHAPITRE III : INDUSTRIE 4.0 .....	40
3.1	Introduction.....	40
3.2	Définition .....	41
3.3	Généalogie de l'Industrie 4.0 .....	43
3.4	La littérature de l'Industrie 4.0.....	44
3.5	Les technologies de l'Industrie 4.0 .....	48
3.6	Les Principes de l'Industrie 4.0.....	54
3.7	Les facilitateurs et les obstacles au déploiement de L'Industrie 4.0 .....	58
3.8	Conclusion.....	62
4	CHAPITRE IV : LEAN 4.0 .....	63
4.1	Introduction.....	63
4.2	L'élimination des 7 Mudras à travers les outils du LM et les technologies de l'I4.0.....	63
4.3	Flux systématique de la recherche du Lean 4.0 (SFF) à travers une analyse bibliométrique 68	
4.3.1	Phase 1 : Protocole de la recherche.....	68
4.3.2	Phase 2 : Analyse .....	70
4.3.3	Phase 3 : Synthèse .....	70
4.3.4	Phase 4 : Rédaction .....	70
4.4	La croissance de la recherche : Évolution des interdépendances entre le Lean et l'Industrie 4.0 sur la base de donnée Web of Science « WOS ».....	71
4.4.1	Domaine du Lean management et de l'Industrie 4.0 .....	72
4.4.2	Répartition géographique des publications sur le Lean 4.0.....	73
4.4.3	Analyse du réseau bibliographique .....	75
4.4.4	Les articles du Lean 4.0 les plus cités .....	77
4.4.5	Analyse des mots-clés .....	79
4.4.6	Travaux préliminaires liés au Lean 4.0 .....	81
4.4.7	Lean management comme outil de facilitation pour l'Industrie 4.0 .....	81

4.4.8	Industrie 4.0 comme facilitateur du Lean management .....	82
4.5	La corrélation entre l'Industrie 4.0 et le Lean management.....	82
4.6	Conclusion.....	97
5	CHAPITRE V : LA MATURITE DU LEAN 4.0 .....	99
5.1	Introduction.....	99
5.2	Définition .....	99
5.3	L'origine de la maturité.....	101
5.4	Les niveaux de la maturité .....	101
5.5	Les types des modèles de maturité .....	103
5.6	Le développement d'un modèle de maturité de Lean 4.0 .....	108
5.6.1	Le déploiement du Lean 4.0 .....	110
5.7	Conclusion.....	113
6	CHAPITRE VI : .....	115
	METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	115
6.1	Introduction.....	115
6.2	La Philosophie de la recherche.....	116
6.2.1	L'antologie .....	116
6.2.2	L'épistémologie.....	117
6.2.3	L'axiologie .....	117
6.3	La logique de la recherche .....	118
6.4	Le paradigme de la recherche.....	120
6.5	L'approche de la recherche .....	120
6.6	La méthodologie de la recherche.....	123
6.6.1	Recherche quantitative .....	123
6.6.2	Recherche par questionnaire - à tester.....	124
6.6.3	Analyse multi variée non structurée.....	129
6.6.4	Le cas d'étude - Pour la validation des résultats .....	129
7	CHAPITRES VII : ETAT DES LIEUX.....	132
7.1	Introduction.....	132
7.2	La taille de l'échantillon .....	133
7.2.1	Section A : informations sur le projet .....	134
7.2.2	Section B : Facteurs affectant la performance des projets de construction en Algérie 136	
7.2.3	Section C : Sensibilisation des répondants aux techniques Lean et à leurs applications dans le projet de construction algérien.....	137
8	CHAPITRES VIII : .....	145

CAS D'ETUDE : SAREL SCHNEIDER ELECTRIC.....	145
8.1 Introduction.....	145
8.2 Présentation de l'entreprise SAREL Schneider Electric .....	145
8.3 Les objectifs de l'entreprise.....	147
8.4 L'application Lean 4.0 dans la société SAREL Schneider Electric .....	148
8.5 Les objectifs de l'entreprise SAREL vis-à-vis le Lean 4.0 .....	149
8.6 Outils Lean et technologies Industrielles 4.0 utilisées dans l'entreprise SAREL Schneider Electric .....	150
8.7 Conclusion.....	154
9 CHAPITRE IX : EVALUATION DE L'ADAPTABILITE DES ENTREPRISES EN ALGERIE ET EN FRANCE PENDANT LE COVID-19 EN UTILISANT LE LEAN 4.0.....	155
9.1 Introduction.....	155
9.2 La présentation de la situation sanitaire du COVID-19 .....	156
9.2.1 La crise organisationnelle.....	157
9.2.2 La capacité d'adaptation des entreprises lors d'une crise organisationnelle .....	158
9.3 Méthodologie de la recherche .....	159
9.4 Résultats de la recherche et discussions.....	160
9.4.1 Profil des répondants.....	160
9.4.2 La corrélation de Spearman.....	165
9.4.3 L'analyse de la régression .....	169
9.5 Conclusion.....	171
10 CHAPITRE X : .....	173
UNE ENQUETE SUR L'ADAPTABILITE ET LA MATURITE LEAN 4.0 DES ENTREPRISES DANS LE CAS NORMAL .....	173
10.1 Introduction.....	173
10.2 Résultats et discussion.....	174
10.2.1 Le Profil des répondants.....	174
10.3 L'approche analytique: La maturité Lean 4.0 des entreprises par rapport aux 5 dimensions organisationnelles.....	182
10.3.1 Test statistique des questionnaires .....	186
10.3.2 La Fiabilité du questionnaire .....	187
10.3.3 Évaluation des dimensions organisationnelles à travers l'indice d'importance relative RII .....	187
10.4 présentation des résultats de l'analyse multivariée .....	194
10.4.1 Pertinence de l'analyse factorielle.....	194
10.5 L'Analyse en composantes principales (ACP).....	195
10.5.1 Méthode de rotation et facteurs extraits .....	199

10.5.2	Corrélation entre les nouvelles dimensions regroupées par l'analyse factorielle...	203
10.6	Proposition d'un nouveau modèle amélioré avec 5 dimensions organisationnelles .....	212
10.7	Conclusion.....	213
11	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....	215
11.1	Conclusion générale .....	215
11.2	Les futurs Perspectives et les limites de la recherche .....	216
	REFERENCE.....	220
	ANNEXE A: l'article de la publication dans une revue C: recherche économique et managériale avec la promesse de publication.....	249
	ANNEXE B : Questionnaire n°:01 d'état des lieux du Lean en ALGERIE. ....	285
	ANNEXE C : Questionnaire 2 : l'adaptabilité des entreprises pendant le COVID-19 en utilisant le Lean 4.0 (98 ETP).....	295
	ANNEXE D: le résultat de la corrélation entre le LM et l'I4.0 pendant le COVID-19.....	305
	ANNEXE E: Questionnaire 3 de l'adaptabilité des entreprises par rapport au Lean 4.0 dans le cas normal (76 ETP) dans les 2 langues français et traduit aussi en Anglais.....	307
	ANNEXE F : Résultats du questionnaire 3 .....	319

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:La structure de la thèse. Source : Auteurs.....	5
Figure 2 : Le système de production de Toyota (J. Liker, 2001) .....	12
Figure 3: Les cinq principes du Lean management, source : cours « Lean management » d’Ahmed Saïd sur la plateforme Udemey. ....	18
Figure 4: Les 14 principes de LIKER .(J. K. Liker, 2008).....	19
Figure 5: Publications du Lean management par an. Source : Web of Science (WOS) .....	23
Figure 6: Domaines d'application du Lean management. Source : Web of Science .....	24
Figure 7: Visualisation du réseau de la distribution géographique des publications qui traitent le Lean management.....	27
Figure 8 :Visualisation du réseau des mots clé des auteurs.....	29
Figure 9: La généalogie de l'Industrie 4.0. Source : DFKI 2011.....	44
Figure 10: Les principes et les technologies de l'Industrie 4.0, source : (Ghobakhloo, 2018) .....	45
Figure 11:La méthodologie de la recherche sur la corrélation entre le LM et l'I4.0. Source : auteurs.....	71
Figure 12:Total des publications (cumulé) et total des citations sur le Lean et l’Industrie 4.0 entre 2011 et 2020. ....	72
Figure 13:Top 10 des sujets les plus utilisés dans la publication. Source : WOS.....	73
Figure 14: Répartition géographique des publications sur le Lean 4.0 source : WOS (Auteurs).....	74
Figure 15: Citation des auteurs. Source : traitement des auteurs avec Vos Viewer.....	76
Figure 16: Carte de visualisation en réseau des mots-clés. Source : traitement des auteurs avec Vos Viewer.....	80
Figure 17: Les outils du Lean management rendus possibles par les technologies de l’Industrie 4.0. Source : Auteurs.....	86

Figure 18: Occurrences entre les technologies I4.0 et les outils LM source : traitement de l'auteur. ....	97
Figure 19: Niveaux de maturité, adoptés à partir de Paulk et al. (1995).....	102
Figure 20 :Le diagramme d'UML de déploiement de maturité Lean 4.0. Source : contribution des auteurs, 2020.....	110
Figure 21: Roadmap du Lean 4.0 par rapport aux 9 dimensions organisationnelles. Source : auteurs.....	111
Figure 22: L'oignon de la recherche. Source : Auteurs. ....	116
Figure 23: La philosophie de la recherche. Source : adaptée de (Saunders & Lewis, 2012). ....	116
Figure 24: la logique de la recherche. Source : auteurs.....	120
Figure 25: le design de la recherche. Source: Auteurs. ....	122
Figure 26: Les étapes de l'enquête. Source : Auteurs.....	128
Figure 27: Les années d'expérience. Source : les contributions des auteurs. ....	134
Figure 28: La profession des répondants. Source : auteurs. ....	135
Figure 29: Le budget du projet. Source : Auteurs, 2020. ....	135
Figure 30: Réduction du gaspillage. Source : Auteurs.2020. ....	138
Figure 31: Réduction de la variabilité. Source : Auteurs.2020. ....	139
Figure 32: Accroissement de la transparence. Source : auteurs.2020. ....	139
Figure 33: Système de management visuel : VSM .Source:Auteurs.2020.....	140
Figure 34: La variabilité de flux .....	141
Figure 35: Attraction client. Source : Auteurs.2020.....	141
Figure 36: Amélioration continue. Source : Auteurs.2020.....	142
Figure 37: Présentation de l'entreprise. Source: Auteurs. ....	146
Figure 38: La distribution géographique du SAREL Schneider Electric. Source : Auteurs. ....	147
Figure 39: Tailored système. Source : entreprise Sarel Schneider Electric. ....	148
Figure 40: Les objectifs souhaités et atteinte de l'entreprise SAREL. Source : SAREL ..	149

Figure 41: Road map de déploiement du Lean 4.0 au sein du SAREL. Source: SAREL.	149
Figure 42: Etapes du MM suivi par l'entreprise. Source : Auteurs.	150
Figure 43: Les outils et les technologies du Lean 4.0 au sein des entreprises. Source : SAREL	151
Figure 44: Evaluation de l'applicabilité des dimensions organisationnelles dans les organisations dans la période du covid-19. Source : Contribution des auteurs avec SPSS20.	164
Figure 45: La corrélation entre les outils LM et les technologies du l'I4.0. Source: contribution des auteurs à partir des résultats du questionnaire.	166
Figure 46: Les coefficients de cheminement du modèle de recherche Lean 4.0 corrélation « path coefficient ». Source : Contribution des auteurs basée sur Smart PLS.	167
Figure 47: Corrélation entre le JIT et les technologies INDUSTRY 4.0. Source : Contribution des auteurs basée sur SPSS et PLS intelligent.	170
Figure 48: Evaluation du niveau de maturité Lean 4.0. source: Auteurs.	183
Figure 49: Evaluation de la maturité Lean 4.0 dans.la dimension stratégie source: Auteurs.	184
Figure 50: Pourcentage des facteurs extraits. Source : Auteurs.	198
Figure 51: Valeurs de R <sup>2</sup> . Source: Auteurs.	210
Figure 52:Coefficient de Path. Source : Auteurs.	211
Figure 53:Coefficient path des 5 dimensions avec SMART PLS.Source : Auteurs.	212
Figure 54:Nouveau MM Lean 4.0. Source : Auteurs.	213

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Histoire du Lean Management ,adaptée de (Lyonnet, 2010),(Bösenberg & Metzen, 1994).(traitement des auteurs) .....	13
Tableau2: Citations des auteurs. Source : Web of Science .....	24
Tableau 3: Le tableau récapitulatif des outils du Lean management .....	31
Tableau 4: Les obstacles et les facilitateurs du Lean management .....	36
Tableau 5: la littérature des principes et des technologies de l'Industrie 4.0.source :(Ghobakhloo, 2020).....	59
Tableau 6: Les obstacles et les facilitateurs de L'Industrie 4.0 Source : auteurs.....	60
Tableau 7:Les outils du Lean pour éliminer les 7 types du gaspillage (Mudas). Source : auteurs.....	65
Tableau 8: Les 7 MUDAS soutenus par l'I4.0. Source : auteurs.....	67
Tableau 9: Protocole de la recherche. Source: Auteurs.....	68
Tableau 10: Citation des auteurs. Source : traitement des auteurs avec Vos Viewer. .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 11: Perspectives existantes sur la corrélation de I4.0 et LM.Source: Auteurs .....	81
Tableau 12: La synergie entre les outils du Lean management et les technologies de l'Industrie 4.0. Source : contribution des auteurs. ....	86
Tableau 13 : Processus clé des domaines. Source :(Paulk, 1995). ....	103
Tableau 14: La littérature des types de modèles de maturité. Source : auteurs.....	105
Tableau 15: La littérature des outils et des technologies du Lean 4.0 par rapport aux 9 dimensions organisationnelles. Source : auteurs. ....	112
Tableau 16: La fréquence des facteurs ayant un impact sur la performance globale du projet. Source : auteurs,2020. ....	136
Tableau 17: Les outils du LM et les technologies de l'I4.0 utilisés dans l'entreprise SAREL Schneider Electric. Source: SAREL.....	151

Tableau 18: Les années d'expérience. Source : auteurs avec SPSS. ....	161
Tableau 19: Les pays des enquêtés. Source : Auteurs.....	161
Tableau 20: La profession des enquêtés. Source : auteurs. ....	161
Tableau 21: Echelle de l'entreprise. Source : auteurs .....	162
Tableau 22: Statistiques de fiabilité - alpha de Cronbach de l'étude de l'échantillon. Source : Contribution des auteurs avec SPSS20. ....	162
Tableau 23: Le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT). Source : la contribution des auteurs.....	164
Tableau 24: Résultat empirique de la corrélation entre les outils de gestion Lean et les technologies Industrie 4.0, source : Contribution des auteurs basée sur SPSS et PLS intelligent.....	168
Tableau 25: Path coefficient. Source : Contribution des auteurs basée sur SPSS et PLS intelligent.....	169
Tableau 26: Régression linéaire entre JIT et les technologies de l'I4.0.....	171
Tableau 27: Les variables et leurs codes. Source : auteur. ....	175
Tableau 28: le profil des répondants. Source: Auteurs.....	179
Tableau 29: Résultats de la maturité Lean 4.0 des 9 dimensions. source : Auteurs avec SPSS. ....	184
Tableau 30: Test alpha Cronbach Source : Auteurs avec SPSS.....	187
Tableau 31: Les valeurs du T test. Source : Auteurs. ....	190
Tableau 32: Indices d'importance relative RII des pratiques les plus importantes de chaque dimension organisationnelle. Source : Auteurs. ....	193
Tableau 33: Indice KMO et test de Bartlett. Source : Auteurs.....	195
Tableau 34: Communautés initiales et après extraction des facteurs pour l'analyse en composantes principales. ....	196
Tableau 35: Valeurs propres et pourcentage total de variances expliquée après la rotation. Source: Auteurs. ....	197
Tableau 36 : Matrice de rotation et facteurs extraits. Source: Auteurs. ....	201
Tableau 37: Statistiques descriptives, et fiabilité et validité du modèle de mesure. Source : Auteurs. ....	204

Tableau 38: Le résultat de Fornell et Larcker. Source : Auteurs.....	204
Tableau 39: Le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT). Source : Auteurs.....	205
Tableau 40: Les résultats de cross loading. Source : Auteurs. ....	206
Tableau 41: Facteur d'inflation de la variance de l'IVF. Source : contribution des auteurs avec Smart PLS. ....	209
Tableau 42: Valeurs de F2. Source: Auteurs.....	210
Tableau 43: Coefficient de path. Source : Auteurs.....	210

## LISTE DES ABREVIATIONS

AR : *Augmented reality*

CPS : *Cyber physic systems*

ERP : planification des ressources de l'entreprise

HTMT : *Heterotrait-Monotrait*

IIT : l'Institut Indien de Technologie

IoD : Internet des données

IoP : Internet des personnes

IoT: *l'internet of things*

IMVP: l'International Motor Vehicle Program

JIT: *Just in Time*

KPI: *Key Performance Indicators*

L'I4.0: l'Industrie 4.0

LP : *Lean production*

LM : Lean Management

MM : modèles de maturité

MRP : la planification des ressources matérielles

NIST: le National Office of Institute of Standards and Technology

NVA : des activités sans valeur ajoutée

OMS : l'Organisation mondiale de la santé

PCA : le plan de continuité des activités

RA : la réalité augmentée

RV : la réalité virtuelle

SD : dispositifs sociaux

SSF : Systematic Search Flow

ACP: Analyse des composantes principales

TPM : gestion de la production totale

UML : *Unified Modeling Language*

VA : la valeur ajoutée

VSM : *visual system management*

WOS : *Web of Science*



## RESUME

Dans cette thèse, le Lean 4.0 est intégré à la méthode d'évaluation organisationnelle (MM) en apportant une contribution originale aux connaissances permettant de mesurer l'état actuel de la maturité du Lean 4.0, appelé modèle de maturité Lean 4.0 (MM) Lean 4.0. Celui-ci apporte et soutient les organisations de construction ainsi que les autres secteurs dans le développement de leur maturité et par conséquent améliore la connaissance et la compréhension du Lean 4.0. L'objectif de cette recherche est de mesurer l'écart entre la situation actuelle et future des organisations concernées par le Lean 4.0 dans leur cheminement vers une plus grande maturité du Lean 4.0. L'étude a été menée selon un plan quantitatif afin de découvrir et de comprendre le phénomène de la maturité Lean 4.0 des répondants pour atteindre au mieux les objectifs fixés par cette recherche. Par conséquent, le questionnaire a été utilisé comme principal outil pour la partie empirique. Pour garantir la validité, trois approches différentes ont été adoptées : une description approfondie, la mesure de la maturité et enfin la validation par analyse factorielle de la méthode développée. Ce cadre a défini une méthode d'évaluation de la maturité du Lean 4.0 en utilisant six niveaux de maturité, 9 dimensions clés, qui ont été décrits jusqu'à 47 outils, technologies et pratiques. Les principaux résultats de cette recherche sont les suivants : L'intégration réussie des MM et des Lean 4.0 obtenue grâce à l'élaboration de la proposition de la simplification du Lean 4.0 en 5 dimensions organisationnelles clés qui expliquent le Lean 4.0 dans un cadre plus simple et facile à appliquer. Enfin, la conséquence la plus importante de ce travail est de permettre les organisations pour obtenir une vue d'ensemble systémique et holistique de leur état actuel de maturité du Lean 4.0 et leur apporter un soutien dans leur maturation.

**Mot clés** : organisation de construction, le modèle de maturité MM, Lean 4.0, les dimensions organisationnelles, outils et technologies, MM Lean 4.0.

## ABSTRACT

In this thesis, Lean 4.0 is integrated into the Organizational Assessment (MM) methodology by making an original contribution to the knowledge to measure the current state of Lean 4.0 maturity, called the Lean 4.0 (MM) Lean 4.0 maturity model. It provides and supports construction organizations as well as other sectors in the development of their maturity and consequently improves the knowledge and understanding of Lean 4.0. The objective of this research is to measure the gap between the current and future situation of Lean 4.0 organizations in their journey towards greater Lean 4.0 maturity. The study was conducted according to a quantitative plan in order to discover and understand the phenomenon of Lean 4.0 maturity of respondents to best achieve the objectives set by this research. Therefore, the questionnaire was used as the main tool for the empirical part. To ensure validity, three different approaches were adopted: an in-depth description, the measurement of maturity and finally the validation by factorial analysis of the developed method. This framework defined a methodology for assessing Lean 4.0 maturity using six maturity levels, 9 key dimensions, which were described in up to 47 tools, technologies and practices. The main results of this research are as follows: The successful integration of MM and Lean 4.0 achieved through the development of the Lean 4.0 simplification proposal into 5 key organizational dimensions that explain Lean 4.0 in a simpler and easier to apply framework. Finally, the most important outcome of this work is to enable organizations to obtain a systemic and holistic overview of their current state of Lean 4.0 maturity and to support them in their maturation.

**Keywords :** construction organization, MM maturity model, Lean 4.0, organizational dimensions, tools and technologies, MM Lean 4.0.

## ملخص

في هذه الأطروحة، تم دمج Lean 4.0 في منهجية التقييم التنظيمي (MM) من خلال تقديم مساهمة أصلية للمعرفة لقياس الحالة الحالية لنضج Lean 4.0 ، يسمى نموذج النضج .Lean 4.0 (MM) Lean 4.0. إنه يوفر ويدعم منظمات البناء بالإضافة إلى القطاعات الأخرى في تطوير نضجها .الهدف من هذا البحث هو قياس الفجوة بين الوضع الحالي والمستقبلي لمؤسسات Lean 4.0 في رحلتهم نحو نضج Lean 4.0 أكبر. أجريت الدراسة وفق خطة كمية لاكتشاف وفهم ظاهرة Lean 4.0 لتحقيق أفضل الأهداف التي حددها هذا البحث. لذلك، تم استخدام الاستبيان كأداة رئيسية للجزء التجريبي. لضمان الصلاحية، تم اعتماد ثلاثة مناهج مختلفة: الوصف المتعمق، وقياس النضج، وأخيرًا التحقق من الصحة عن طريق التحليل العاملي للطريقة المطورة. حدد هذا الإطار منهجية لتقييم نضج Lean 4.0 باستخدام ستة مستويات للنضج، و9 أبعاد رئيسية، والتي تم وصفها فيما يصل إلى 47 أداة وتقنية وممارسة. النتائج الرئيسية لهذا البحث هي كما يلي: التكامل الناجح بين MM و Lean 4.0 الذي تم تحقيقه من خلال تطوير اقتراح تبسيط Lean 4.0 إلى 5 أبعاد تنظيمية رئيسية تشرح Lean 4.0 في إطار عمل أبسط وأسهل للتطبيق. أخيرًا، تتمثل النتيجة الأكثر أهمية لهذا العمل في تمكين المنظمات من الحصول على نظرة عامة منهجية وشاملة لحالتها الحالية لنضج Lean 4.0 ودعمها في نضجها.

**الكلمات المفتاحية:** مؤسسة البناء، نموذج نضج MM، Lean 4.0، الأبعاد التنظيمية، الأدوات والتقنيات.



# **INTRODUCTION GENERALE**

# CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

## **1.1 Introduction**

Au cours de cette introduction, le contexte et les motivations de cette recherche sont résumés, la problématique soulevée ainsi que les motivations et les objectifs de la recherche sont également décrits. Ainsi, la contribution originale de cette recherche au développement scientifique est mise en évidence. Dans la dernière partie du présent chapitre, un aperçu des recherches menées au cours de cette étude ainsi que la structure de la thèse sont également évoqués.

## **1.2 Le contexte de la recherche**

En Allemagne, le thème de la quatrième révolution Industrielle a fait son apparition dans la vie quotidienne depuis 2011, date à laquelle le terme "Industrie 4.0" a été introduit à la foire de Hanovre, non seulement comme un thème de recherche pour l'université, mais surtout comme une opportunité pour les entreprises de production, qui tentent de saisir tous les avantages que cette transformation pourrait apporter. L'Industrie 4.0 est "une vision de l'avenir de l'Industrie et de la production dans laquelle l'information, et les technologies vont stimuler la compétitivité et l'efficacité en interconnectant toutes les ressources (données, personnes et machines) dans la chaîne de valeur (Malavasi & Schenetti, 2017).

Les entreprises de différents secteurs sont inévitablement touchées par ce grand changement ; par conséquent, elles tentent de relier l'Industrie 4.0 à des philosophies économiques préexistantes. Ainsi, un nombre croissant d'entreprises recherchent un lien potentiel avec un paradigme managérial profondément ancré tel que le Lean Management. En raison du déclin de la production de masse à la fin des années 70, les organisations sont aujourd'hui contraintes d'accorder une priorité croissante à la qualité de leur produit face à des consommateurs de plus en plus attentifs aux délais de production et de livraison et dans un contexte d'innovation technologique constante. En vue de créer des produits et des services personnalisés, les organisations doivent mettre en œuvre des processus modernes et efficaces pour éliminer les gaspillages dans leurs activités et minimiser les coûts. Le terme "Lean" a été proposé pour la première fois aux États-Unis dans le livre "the machine that changed the world" de Womack, Jones et al. (J. Womack & Jones, 1990).

Les publications universitaires et les articles de pratique concernant les interactions entre le Lean Management (LM) et l'Industrie 4.0 (I4.0) ont été rigoureusement sélectionnés et examinés ; il est apparu qu'il n'existe pas de cadre expliquant comment les outils du Lean management peuvent être corrélés avec les technologies de l'Industrie 4.0, étant donné le caractère intrinsèque des deux paradigmes. Bien que les deux langages technologiques différents du Lean et de l'Industrie 4.0 soient superficiellement similaires et complémentaires, une analyse plus approfondie révèle certaines inégalités. Cette lacune change la façon d'envisager les paradigmes du point de vue du soutien à la fois du Lean et de l'I4.0. Nunes et al. ont constaté que l'approche I4.0 n'est pas un substitut au Lean, mais plutôt que les deux approches sont susceptibles d'être intégrées (Nunes, Pereira, & Alves, 2017). Cependant, la puissance de l'Industrie 4.0 ne deviendra pas une révolution Industrielle si elle n'est pas intégrée à la structure théorique du LM (Rüttimann & Stöckli, 2016).

### ***1.3 Motivation de la recherche***

Les principales raisons et motivations pour le développement de cette étude sont liées à la connaissance de ces corrélations qui peuvent influencer les décisions de production importantes et leurs acteurs. En outre, il existe peu de travaux de recherche sur l'importance de la relation entre les Industries I4.0 et le LM (Buer, Strandhagen, & Chan, 2018), aucun lien détaillé entre le LM et I4.0 (Rossini, Costa, Tortorella, & Portioli-Staudacher, 2019). Il est nécessaire de développer un cadre pour évaluer la synergie entre le LM et I4.0 (Rosin, Forget, Lamouri, & Pellerin, 2020). Le domaine du LM et de l'I4.0 est encore immature (G. Tortorella et al., 2020), et donc le cadre pour l'intégration du LM et I4.0 est encore prématuré, le besoin de mieux comprendre l'interaction de ces concepts a également été suggéré. En dépit de l'existence de documents qui combinent ces deux approches, aucune systématisation complète des connaissances existantes n'examine l'interaction entre tous les outils et techniques Lean et l'I4.0 dans ce domaine, d'où la nécessité d'une organisation plus poussée des connaissances acquises.

L'intégration du Lean 4.0 est donc indéniablement un défi, d'où la difficulté pour certaines organisations d'avancer dans leur processus de maturation du Lean 4.0. Une fois passée la phase initiale de l'intégration du Lean 4.0 et l'utilisation de certains outils et technologies qui peuvent apprendre à leur utilisateur, de nombreuses personnes ne reconnaissent pas les actions à venir et ne sont pas conscientes de l'importance de

l'intégration du Lean4.0. Ainsi, les organisations se retrouvent bien souvent embrouillées, ne sachant pas où elles en sont aujourd'hui dans leur processus de transformation vers une plus grande maturité dans le Lean 4.0 en raison de l'extrême difficulté de planifier et de diriger un voyage vers une destination visionnaire sans en connaître l'emplacement actuel cela s'applique également au défi que les organisations doivent relever en termes d'intégration du Lean 4.0. Le défi à relever est l'utilisation du modèle de maturité (MM), qui a été de plus en plus employé pour intégrer diverses disciplines de management, de nouvelles cultures ou de nouveaux processus, et pour soutenir les organisations dans leur transformation et la mise en œuvre des changements dans de nombreux secteurs indiquant le niveau actuel de maturité. De plus, ces modèles fournissent aux organisations des informations essentielles sur leur situation actuelle et sont utilisés pour planifier et diriger la transformation.

Les organisations pourraient utiliser des modèles de maturité pour comprendre la capacité actuelle à entreprendre des activités, et les aider à améliorer les pratiques en la matière de manière structurée (Sowden et al. 2010). Malheureusement, il n'existe pas de modèle permettant d'examiner la corrélation entre Lean et Industrie 4.0 pour les 9 dimensions organisationnelles sur le plan pratique, chacun des instruments soutenant ces modèles se chevauchant avec un grand nombre de questions ou d'éléments dont la plupart n'ont jamais été testés pour leur fiabilité ou leur validité en termes scientifiques (Thomas & Mullaly, 2008). En outre, les modèles de maturité comportent un grand nombre d'indicateurs, ce qui rend difficile d'orienter une organisation vers l'amélioration de ses performances (Shi, 2011).

Cette recherche ambitionne de contribuer à l'élaboration d'un cadre pour l'intégration du management Lean (LM) et de l'I4.0 dans des organisations ayant diverses cultures et processus organisationnels. L'argument scientifique du document est que les connaissances sur la combinaison du Lean Management et de l'I 4.0 doivent être développées et systématisées, dans la mesure où cela encouragera l'amélioration d'une structure théorique pour leur exécution. Dans ce contexte, la démarche de cette recherche a consisté principalement à étudier la synergie entre le Lean Management et l'Industrie 4.0 dans un premier temps, puis la maturité du Lean 4.0, et ensuite à comprendre si le modèle de maturité (MM) peut être intégré au Lean 4.0 pour mesurer l'état actuel de la maturité du Lean 4.0 et soutenir les organisations dans leur processus de développement vers une plus grande maturité du Lean 4.0.

## ***1.4 La question de la recherche et les objectifs***

### ***1.4.1 La question de la recherche***

Comment pouvons-nous évaluer le niveau actuel de maturité du Lean 4.0 dans les organisations et leurs fournir un MM Lean 4.0 pour le déployer en vue d'une plus grande maturité du Lean 4.0 ?

### ***1.4.2 Les objectifs de la recherche***

Pour répondre à cette question, l'objectif de la recherche est de “développer un cadre pour comprendre le Lean 4.0 et le déployer au sein des organisations en mesurant l'écart entre leur situation actuelle et celle qu'ils souhaitent atteindre, en termes de maturité de Lean 4.0 à travers un MM Lean 4.0 qui sera proposé dans cette thèse". Cette analyse est réalisée aussi bien dans le cas normal que dans le cas de la crise du Covid-19.

Pour atteindre ces objectifs spécifiques de recherche, plusieurs objectifs secondaires ont été formulés :

- ✚ Présenter la littérature du " Lean4.0 " et de la "MM" à travers une analyse bibliométrique.
- ✚ Comprendre la corrélation entre les outils du Lean management et les technologies de l'Industrie 4.0 afin de fournir une base théorique permettant d'établir un cadre pour l'évaluation de la maturité des Lean 4.0 ;
- ✚ Développer un modèle de maturité du Lean 4.0;
- ✚ Proposer un cadre qui peut être utilisé pour mesurer l'état actuel de la maturité Lean 4.0 des organisations pour valider le cadre proposé.

## ***1.5 Contribution à l'ensemble des connaissances***

Cette thèse apporte une contribution originale au développement des connaissances sur le "Lean 4.0" et "la maturité de Lean 4.0" qui peut permettre aux organisations d'atteindre, et d'améliorer leur compréhension du Lean 4.0 et la prise de conscience de leur maturité actuelle par la proposition d'un MM Lean 4.0, chose qui n'a jamais été traitée en termes de 9 dimensions organisationnelle. Cette étude fournit la preuve de la maturité du

Lean 4.0 sous la forme d'une étude phénoménologique, ainsi qu'un cadre nouveau et innovant pour la corrélation des outils et technologies de l'Industrie 4.0, et qui permettra de mesurer la maturité Lean 4.0. En outre, cette thèse fait preuve d'originalité en présentant la synergie entre 38 outils du Lean et 15 technologies de l'Industrie 4.0 d'une manière plus simple et unique qu'auparavant, pour les exploiter plus tard afin de développer le MM Lean 4.0 dans le cas d'une crise organisationnelle comme le Covid-19 et le cas normal.

### 1.6 La structure de la thèse

La Figure 1 montre un aperçu global de la manière systématique et méthodique dont cette recherche a été menée. Cette présentation illustre les processus de recherche déployés et leurs relations entre eux. Cette recherche est organisée en quatre phases de processus selon la méthode de recherche IMRAD. Les processus au sein de chaque phase sont illustrés par des encadrés avec un titre court, et les relations sont indiquées par des flèches. En outre, il résume l'utilité des chapitres par rapport à nos objectifs.

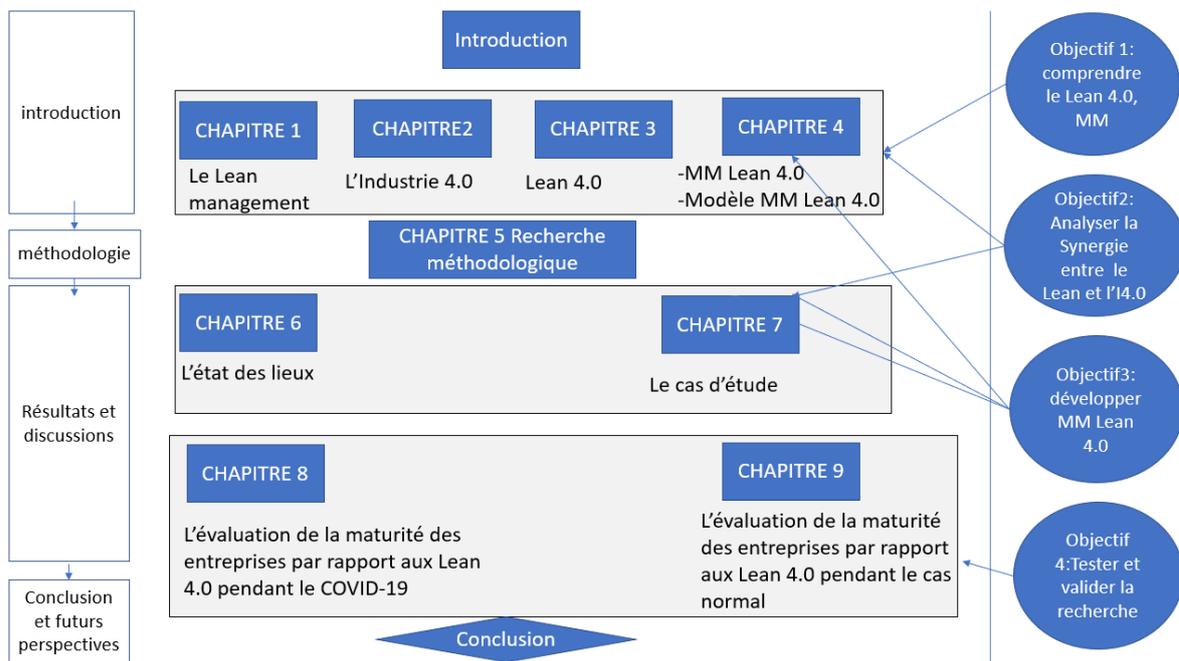


Figure 1: La structure de la thèse. Source : Auteurs.

## CHAPITRE II : LE LEAN MANAGEMENT

### 2.1 *Introduction*

La plupart des organisations et autres types d'institutions visent toujours les meilleures performances. Les managers se voient offrir une variété d'outils, de méthodologies et de modèles destinés à améliorer leurs organisations et atteindre des indicateurs de performance. Parmi les concepts disponibles figure l'approche du Lean Management (LM), qui est devenue de plus en plus populaire au sein des entreprises ainsi que d'autres types de structures et elle est largement utilisée dans tous les services et secteurs (Urban, 2015). Cette popularité est principalement due à son efficacité, et aussi au fait que de nombreuses organisations à travers le monde ont connu des effets remarquables en matière de productivité et de compétitivité grâce à la mise en œuvre du Lean Management. Nous présentons dans ce chapitre les concepts liés au Lean management que nous relierons ultérieurement à l'Industrie 4.0 par rapport aux neuf dimensions de la maturité de ces méthodes au sein des organisations de la construction. Dans un premier temps, nous mettons en lumière le Lean management comme concept. Nous y abordons l'évolution du Lean dans le temps, les sept types du muda et les principes du Lean management. Ensuite, nous réalisons une bibliométrie du Lean management sur la base de données du Web of Science sur le déploiement du Lean, ses outils ainsi que les obstacles et les facteurs facilitant sa mise en œuvre. Enfin, une conclusion est proposée à la fin de ce chapitre.

### 2.2 *Définition*

Bien que cela puisse paraître surprenant, il n'existe pas de définition standard ou commune du Lean Management (pensée allégée). De ce fait, dans leurs publications, des définitions différentes sont présentées par les auteurs des ouvrages de référence.

Parmi eux, Hohmann (Hohmann, 2012), qui est le deuxième auteur qui avait développé un livre qui s'intitule "Lean Management. L'auteur a proposé une première définition :

« Le Lean peut être défini comme un système qui vise à obtenir une valeur ajoutée maximale au coût le plus bas et dans les délais les plus courts possibles, en utilisant les ressources appropriées nécessaires pour fournir aux clients ce qui fait leur valeur ».

Hohmann a ensuite proposé une définition complémentaire : « Le Lean est une approche systématique de conception et d'amélioration des processus visant un modèle centré sur le

client, en impliquant tous les employés dont les initiatives s'alignent sur des pratiques et des principes partagés.».

Hohmann a ensuite repris la définition de Womack (J. Womack & Jones, 1990): « Le Lean est la surveillance d'un système d'exploitation avec un poste qui révèle la valeur, les flux, et le potentiel de tirer et de diriger les flux en quantités».

En effet, Hohmann reconnaît cela : Le concept Lean est si riche qu'il est difficile de le résumer de manière concise et pertinente.

Selon (J. Womack & Jones, 1990), Le Lean : « est une méthode qui a pour but d'organiser et de gérer les relations d'une entreprise avec les clients, la chaîne d'approvisionnement, le développement des produits et les opérations de production. Il est considéré comme un "remède" contre le gaspillage. »

D'autre part, (Todd, 2000) considère le Lean comme une initiative ayant pour principal objectif de minimiser le gaspillage des efforts humains, de réduire les stocks, les délais et l'espace de travail, afin de pouvoir répondre très efficacement aux exigences des clients et en même temps de fournir des produits de qualité de manière efficace.

La définition la plus simple du Lean Management est celle de Rymaszewska : "faire plus avec moins" Cette définition très simple idée est à la fois très puissante et inspirante.(Tyagi, Jain, & Jain, 2020).

L'absence de définition déposée a également été soulignée par Lyonnet (Lyonnet, 2010). Après une analyse bibliographique systématique de 26 références, cet auteur arrive à la même constatation que Hohmann en ne donnant pas une véritable définition du Lean Management :

Dans cette perspective : le Lean implique dans un premier temps :

- Commencer par le processus par le client : le client est devenu au centre de la commande. (Morgan & Liker, 2006)
- Fournir de la valeur au client .(Peter Hines & Lethbridge, 2008)
- Maximiser la valeur d'un processus en éliminant les étapes qui génèrent des déchets.(Shingo, 1996)
- définir la valeur (J. Womack & Jones, 1990)
- Atteindre le zéro gaspillage, en créant un processus capable (produit un bon résultat à chaque exécution), disponible (produit le résultat souhaité à chaque

exécution), approprié (ne provoque aucun retard) et flexible (le produit est conçu rapidement) .(IHI, 2005)

- Rechercher un processus parfait qui réponde aux besoins des clients sans générer de gaspillage .(J. P. Womack, Jones, & Roos, 2007)
- rechercher la perfection en apportant des améliorations immédiates et continues (J. Womack & Jones, 1990), (Samir, 2016).

### 2.2.1 Synthèse

Dans ce sens nous pouvons définir le Lean management comme : « une méthode visant à améliorer la satisfaction du client en créant un processus avec sans gaspillage, dans les délais prévus et avec un cout sans valeur ajoutée. »

En effet, de nombreuses organisations ont mis en place des programmes de Lean management au sein de leur propre entreprise. Le Lean management ou "Lean thinking" est une méthode qui aide les organisations à identifier et à éliminer le gaspillage par l'amélioration continue, en gérant leurs outils Lean.

### 2.3 *Généalogie du Lean management*

Le concept Lean s'est développé au Japon juste après la deuxième guerre mondiale dans les usines de fabrication automobile de Toyota. En réalité, Toyota a choisi de changer d'activité et de se spécialiser dans la fabrication de véhicules automobiles. Et ils ont eu quelques difficultés à surmonter, comme l'application de technologies avancées, l'acquisition des connaissances nécessaires pour entrer dans ce nouveau domaine, et le problème du manque de capital financier. Compte tenu de la forte concurrence sur le marché extérieur, ils ont dû se focaliser sur les petits marchés locaux, diminuer les importations de certaines matières premières et fabriquer en petites séries avec peu de capitaux. Cette position est d'une grande importance pour comprendre la voie empruntée par les fondateurs du modèle.

En 1948, après la seconde guerre mondiale, Toyota s'est endettée huit fois plus que la valeur de son capital (J. K. Liker, 2008) .Dans le but d'éviter une faillite , la société a lancé un plan de redressement. Il prévoyait la séparation entre la distribution et la production par la création d'une société de distribution indépendante, l'adaptation des quantités produites aux quantités vendues et une réduction significative de la main-d'œuvre. Ainsi, au cœur de ces

dispositions imposées se trouvent les fondements des principes clés du modèle, la production sans stock et le juste-à-temps (maison TPS). Le système de production de Toyota est né d'un grand besoin. En 1973, suite à la crise suivie d'une récession, l'économie japonaise a été gravement touchée et a atteint une croissance nulle en 1974. Cette période a été notamment caractérisée par une véritable inversion de l'offre et de la demande.

Le développement des systèmes de production dans le secteur manufacturier a été étudié de manière exhaustive (Hounshell, 1985),(Boyer, Charron, Jurgens, & Tolliday, 1998), tout comme l'histoire du système de production de Toyota, qui a été à l'origine de l'un des plus grands succès commerciaux au monde (Cusumano, 1985),(Ohno, 1988) (Fujimoto, 1989). La production allégée Le Lean Manufacturing a été développée par Toyota sous la direction de l'ingénieur Ohno. Elle a été fondée sur la nécessité de produire en flux continu, sans être soutenu par un long processus de production. Pour être efficace, elle était également basée sur la reconnaissance du fait que seule une petite fraction du temps et des efforts nécessaires pour traiter la valeur ajoutée des produits pour le client. La production de masse basée sur la planification des ressources matérielles (MRP) et les systèmes informatiques complexes ont été développés parallèlement aux philosophies originales de production de masse mises au point par Henry Ford, notamment la production en grand volume de produits standardisés avec un minimum de transitions entre les produits (Melton, 2005). L'ingénieur Ohno a concentré son attention sur l'ensemble du système de production et aussi sur la productivité des travailleurs dans la réalisation globale sur la machine. Le système de production Toyota a été créé par Taichi Ohno à la Toyota Motor Company au Japon au début des années 1950 et s'est directement inspiré des travaux d'un certain nombre de pionniers qui se sont concentrés sur la qualité dans le secteur manufacturier (Ohno, 1988), tels que Henry Ford de la Ford Motor Company et W. Edwards Deming, qui a été le fondateur du concept de gestion de la qualité totale. Ensuite, il a poursuivi le développement de la gestion de la production basée sur les flux pour atteindre zéro déchet, la perfection, les changements, l'amélioration, l'accent mis sur l'activité et le système de livraison (Howell, 1999). En s'appuyant sur le cycle de Deming comme méthode systématique de résolution des problèmes et en tant que pierre angulaire de l'amélioration continue, Toyota a pu combiner avec succès la gestion de la qualité totale (J. Liker, 2001) avec son système de production pour se démarquer de manière cohérente. Ce dernier s'est révélé remarquablement efficace pour réduire et améliorer la qualité et les coûts financiers dans divers environnements de

fabrication, tels que Boeing, le secteur de l'ingénierie et Hitachi (J. P. Womack & Jones, 1997) dans l'application des concepts de production de Toyota. Ces systèmes ont récemment été utilisés dans le secteur des soins de santé et des services en obtenant des résultats marqués. Taiichi Ohno avait commencé à travailler sur le système de production de Toyota dans les années 1940 et a travaillé à son développement jusqu'à la fin des années 1980, sans être gêné par les progrès informatiques qui avaient permis d'améliorer la production de masse" par des systèmes MRP. Dans les années 1970, la base d'approvisionnement des systèmes originaux de Toyota étaient "allégés " ; dans les années 1980, leur base d'approvisionnement était allégés " ; dans les années 1980, leur base de distribution était également "-allégés " (Melton, 2005).

Le terme "gestion allégée" ou bien « Lean management » (LM) a été utilisé pour la première fois par Krafcik en 1988 (Krafcik, 1988). Le terme "Lean" a été inventé par (la machine qui a changé le monde) (J. P. Womack et al., 2007), l'équipe de recherche travaillant sur la production automobile internationale pour refléter à la fois la nature de réduction des déchets du système de production Toyota et pour le contraster avec les formes de production artisanales et de masse (Brantly & Womack, 1991).

Le livre, *Lean Thinking : « Banning waste and creating the wealth of your organization »* (J. P. Womack & Jones, 1996) est également une étape clé dans l'histoire du Lean, comme le résumant les principes du Lean de secours qui " guident l'action". Il a également inventé le terme "production allégée". Cet ouvrage "Lean Thinking" est né du travail effectué par l'International Motor Vehicle Program (IMVP). Tout en examinant tous les aspects du Lean Thinking de l'Industrie automobile, l'IMVP s'est concentré sur la production automobile. Outre la production réussie de (J. P. Womack & Jones, 1996), d'autres travaux clés associés à l'IMVP comprennent (Krafcik, 1988), (MacDuffie, 1995), (Cusumano, Nobeoka, & Kentaro, 1998).

Le principal objectif du TPS est d'identifier et d'éliminer les gaspillages tout en réduisant les coûts et les délais. Ses principales caractéristiques sont : automatisation, le juste à temps, le travail en équipe, la flexibilité et l'autonomie des employés, la sous-traitance et la gestion collaborative (Samir, 2016). En effet , les objectifs du Lean sont la satisfaction du client en termes de coût, de qualité et de délai de livraison ; cela inclut l'optimisation des systèmes de

production dans ses 3 dimensions (technique, gestion et utilisateurs) (Slim, Rémy, & Amadou, 2018).

Le succès de Toyota en a fait l'entreprise automobile la plus rentable au monde depuis plus de 50 ans (Taylor, 2007). Comme le montre [la Figure 2](#) (Morgan & Liker, 2006), le système de production Toyota est devenu l'un des symboles les plus reconnaissables de la fabrication. Il est fondé sur les objectifs de qualité maximale, de coût minimal et de délai d'exécution le plus court possible pour le montage du toit.

La maison intègre (Jidoka) qui est l'un des deux piliers du mode de production Toyota avec le Juste à temps (JIT). (Jidoka) introduit une culture de systèmes adaptés qui détectent automatiquement tout écart par rapport aux opérations normales. Ainsi, les précautions nécessaires peuvent être prises immédiatement pour éviter la propagation des erreurs ou des pannes de machines.

Le deuxième pilier est le Just in Time (JIT), qui est le processus de synchronisation de la production en utilisant (Kan-ban), qui est un signe de gestion de la production via un système de production zéro défaut.

Au centre du système se trouvent les personnes (employées). Enfin, il existe différents éléments fondamentaux, dont la nécessité de disposer de processus standardisés, stables et fiables, et aussi la heijunka, qui signifie que le calendrier de production doit être équilibré en termes de volume et de variété. Un calendrier gradué ou heijunka est nécessaire afin de maintenir la stabilité du système et permettre un stock minimum. La compréhension de cette approche nous permettra de mieux comprendre les fondements du modèle. Bösenberg et Metzen (Bösenberg & Metzen, 1994) énumèrent les principes d'affaires pour le Lean Management en dix éléments qui sont les suivants : 1) Groupe, équipe ; 2) responsabilité personnelle ; 3) retour d'information. 4) Esprit client. 5) Priorité à la valeur ajoutée ; 6) Monothéisme. 7) Amélioration continue. 8) Élimination rapide de la cause des défauts ; 9) Prévision et planification. 10) Élaborer de petites étapes. En ce qui concerne les pratiques Lean, les plus populaires sont la production en temps voulu, le Kanban, la qualité totale, l'amélioration continue ou le Cowzen, les cercles de qualité.



Figure 2 : Le système de production de Toyota (J. Liker, 2001)

Le développement du Lean Management a permis d'améliorer l'efficacité au cours des dernières années. Le modèle est basé sur plusieurs concepts élaborés au fil du temps, dont le succès a stimulé la production de plusieurs recherches visant à adapter les techniques japonaises au contexte occidental. Le Tableau 1 présente un résumé de l'évolution chronologique du Lean management.

Tableau 1: Histoire du Lean Management, adaptée de (Lyonnet, 2010), (Bösenberg & Metzen, 1994). Source : (traitement des auteurs)

*Histoire du Lean Management*

1910	Analyse scientifique du travail, Travail à la chaîne
1911	Taylor public son premier ouvrage consacré à nouveau système de production, la direction scientifique des entreprises.
1920	Garantie statistique de la qualité
1926	Ford présente les principes de la production de masse dans un article de l'encyclopédie Britannica.
1930	Essai de planification statistique
1937	Création de l'usine automobile Koromo de Toyota (qui deviendra Toyota).
1940	Travail en groupe
1945	Ohno énonce les premiers principes du système de production Toyota (TPS)
1950	Accord de base avec les syndicats Démarrage du Système de Production Toyota
1970	7 nouveaux outils
1973	Suite à la crise pétrolière les Industries occidentales commencent à s'intéresser au TPS
1977	Sugimori publie le premier article sur TPS intitulé: « Toyota production system and kanban system: materialization of just-in-time and respect-for-Hu-man system ».

### *Histoire du Lean Management*

1980	Publication sur le tps et le juste à temps dans de nombreux pays, dont la France (Chase, 1980, Schonberger, 1982, Carillon, 1986°
1986	Début des travaux de l'étude mondiale de l'IMPV. Les chercheurs du programme, dont Krafick , Womack , Jones et Ross comparent la performance de 70 usines dans le monde .
1988	Ohno publie en anglais un ouvrage intitulé «Toyota production system : beyond large scale production. »
1988	Krafick invente le terme Lean pour décrire le tps.
1990	Womack et al publient leur premier ouvrage sur le Lean, le système qui va changer le monde.
1994	Womack et al publient l'ouvrage intitulé Lean thinking.
1998	Cusumano et Nebeoka publient thinking beyond Lean.
2000	Nombreux ouvrages et publications scientifiques sur le Lean dans le monde
2001	Création de communautés de pratiques et d'instituts Lean ayant pour mission de promouvoir la pensée Lean par la recherche et la formation (Lean entreprise Institute aux états unis et Lean entreprise en Angleterre créée par Jones.
Après 2001	Création d'instituts Lean dans le monde : France, Mexique, Brésil, Espagne, Afrique, Inde, Australie, Pologne, chine...etc.

Aujourd'hui, le Lean a été mis en œuvre dans tous les secteurs de la construction, y compris l'Industrie manufacturière, la banque, les soins de santé, l'informatique, le gouvernement et même les entreprises à but non lucratif. Il est utilisé par les petites, moyennes et grandes entreprises en tant que facteur de changement dans la société (Taggart & Kienhöfer, 2013).

#### **2.4 Principes de base du Lean : la réduction du gaspillage (7 Mudas)**

De nombreuses organisations ont élaboré des programmes de Lean management au sein de leur propre entreprise. Le Lean Management ou "pensée allégée " est une pratique qui aide les organisations à identifier et à éliminer le gaspillage par une amélioration continue, en utilisant les outils du Lean. L'élimination du gaspillage est la base du Lean management. Il s'agit de toute activité ou ressource qui n'a aucune valeur et n'apporte aucune satisfaction au client.

Une organisation qui vise la perfection dans la réduction de ses coûts se concentre sur l'élimination des déchets et la réduction des travaux sans valeurs. Afin d'éliminer les déchets des procédés, selon les auteurs,(Philips, 2002),(J. P. Womack & Jones, 2003) (Parker, 2003), (Maskell, 2000), (Olexa, 2002) (P Hines, Dimancescu, & Rich, 1997), (J. K. Liker, 1997), (Prizinsky, 2001), les sept types du gaspillage sont : la surproduction, l'attente, le transport, les défauts, le traitement inutile , les stocks inutiles et les mouvements inutiles.

##### **2.4.1 la surproduction**

Elle se définit comme la fabrication de choses qui ne se vendent pas. La surproduction conduit la fabrication de grands lots de produits et de services et entraîne des coûts tels que l'entretien des bâtiments, l'excès de main-d'œuvre, l'excès de machines, de pièces et de matériaux, etc.... La surproduction est une cause majeure d'autres formes de gaspillage, comme la fabrication des produits ou des services que personne n'a commandés, Dans un système de grands lots, la surproduction est le résultat d'une variabilité et du manque de fiabilité inattendus des équipements et des systèmes, et le résultat des systèmes de quotas de production.

Le passage à des systèmes de production basés sur la demande du client, gérés par la fixation d'un délai, peut réduire la surproduction. En termes de service, on peut considérer qu'il s'agit de prestataires de services qui s'attendent à livrer sans clients prêts à recevoir (Hayes, 2013).

### 2.4.2 L'attente

par les processus et les personnes, semble être constituée de machines inutilisées et des travailleurs désœuvrés disposés à faire leur travail. Les étapes déséquilibrées provoquent l'attente et le travail en cours (WIP:work in process) dans les processus. Les approbations, les transferts et les inspections entraînent une attente sans valeur ajoutée dans le processus. L'attente génère des retards et augmente le délai d'exécution, à savoir le temps qui passe entre le moment où un client passe une commande et la réception du produit ou du service.

L'attente est souvent le plus grand gaspillage dans le calcul des délais. Les machines et les personnes inactives révèlent un gaspillage de temps d'attente dans le processus et pour les personnes. Le fait de niveler l'ensemble des étapes du processus, puis de les aligner de telle sorte qu'une étape en cours soit l'étape d'arrivée - ou "ma boîte d'envoi est votre boîte d'arrivée" - réduira l'attente.

### 2.4.3 Transport

Les transports sont, pour la plupart, une forme de gaspillage. Un excès de marche ou de transport et de manutention dû à une mauvaise disposition entraîne à la fois un retard dans l'exécution des travaux et des dégâts matériels. Le transport entre les installations est également une forme de gaspillage. Le fait de regrouper les fournisseurs ou de les placer au niveau des opérations permet d'éliminer le retard de production et de communiquer rapidement sur la qualité du produit. Les longs délais de commande, les coûts de transport élevés et les dommages sont des signes de gaspillage de transport. Le fait de considérer l'ensemble du cycle du produit comme un flux continu dont les étapes sont situées à la distance la plus réduite possible peut réduire les déchets de transport.

### 2.4.4 Surproduction ou traitement inutile

Le gaspillage lié à un processus non maîtrisé, c'est-à-dire l'exécution de tâches inutiles qui ne donnent pas de valeur ajoutée aux produits ou aux services. Cela exige la mise en place de méthodes de gestion de la qualité, qui réduisent et éliminent les processus sans valeur ajoutée.

### 2.4.5 Surstockage ou stock inutile

Il correspond à la conservation des matières premières, des pièces, des encours et des produits finis inutiles. Surstockage est directement lié à deux autres formes de déchets, la

surproduction et l'attente. Le surstockage se produit lorsque le flux de valeur (produit ou service) est limité et ne correspond pas au temps de parcours du client (pull). C'est généralement le résultat d'un système de type "push", où le travail est programmé indépendamment des besoins des processus en aval ou de la demande du client. Ce surstockage peut cacher des défauts, comme dans le célèbre, ou tristement célèbre, exemple d'un fabricant de motos dont les pièces de production à long terme sur des convoyeurs suspendus se sont avérées défectueuses. Les appelants mis en attente par un centre d'appel, les piles de formulaires en attente d'être remplis ou traités et le matériel entreposé dans les étages de production et dans les installations de stockage sont des signes de gaspillage de surstockage. Le fait de maintenir les stocks là où c'est nécessaire pour faire face à la variabilité grâce à l'utilisation de tampons de sécurité dans la production au niveau requis pour une livraison rapide en fonction de la demande des clients peut réduire les stocks excédentaires.

#### 2.4.6 Mouvement inutile\_

Il s'agit du mouvement inutile de personnes ou du mouvement qui n'apporte pas de valeur ajoutée. Selon Slack et al. (Chambers, Johnston, & Slack, 2002) : « la simplification du travail est une source de réduction de gaspillage des mouvements inutiles ».

#### 2.4.7 Défaut

Tout aspect de produit qui ne répond pas au besoin et aux exigences du clients.

### 2.5 *Les Principes du Lean management*

Les deux premiers travaux sur les principes de Lean management ont porté sur le système de production Toyota par (Ohno, 1988): dans Beyond Large-Scale Production et (J. P. Womack & Jones, 1996),(Staats, Brunner, & Upton, 2011) dans le Lean thinking .

Pour Womack ,Jones (J. Womack & Jones, 1990), le Lean management peut être résumé en cinq principes qui sont : la valeur, la chaîne de valeur, la circulation continue des flux, attraction des flux et perfection (amélioration continue). La valeur est définie comme un produit que le client est prêt à payer, ou comme un élément qui modifie la forme, l'adéquation ou la fonction de celui-ci. Le flux de valeur fait référence à la séquence d'événements nécessaires pour fournir au client un produit ou un service. Le terme "flux" signifie l'achèvement des tâches le long du flux de valeur sans attente ni retard. Le principe

d'attraction fait référence au processus en amont ne produisant que lorsque le processus en aval signale un besoin. Le principe du processus final est la perfection, ce qui indique l'élimination complète des déchets de sorte que toutes les activités le long du flux de valeur créent de la valeur (Figure 3).

En effet, les auteurs Womack & Jones (J. P. Womack & Jones, 2003) se sont concentrés sur la manière d'apporter une valeur ajoutée dans toute entreprise de fabrication ou de services, et non pas seulement sur L'élimination des déchets .



Figure 3: Les cinq principes du Lean management, source : cours « Lean management » d'Ahmed Saïd sur la plateforme Udemy.

Le premier principe est de lier *le concept de valeur au client*. En principe, cela devrait signifier que tout ce qui apporte de la valeur au client est essentiel, mais que tout le reste est du gaspillage et doit être éliminé. La valeur définit l'utilisation qu'un produit offre à un client, et travaille en amont pour construire le processus de production. Les entreprises cartographient la production (créent un flux de valeur) pour s'assurer que chaque étape apporte une valeur.

Le deuxième principe est *la cartographie de la chaîne de valeur* (VSM) qui fournit une vue d'ensemble des activités, des entrées, des sorties et des connexions pour détecter les déchets et planifier leur élimination. Elle permet un flux continu dans un processus où les opérations sont liées sans perturbation ni interruption, elle réorganise les processus afin que les produits passent sans heurts par les étapes de création de valeur.

Le troisième principe introduit le principe : *circulation continue de flux*. Ce principe est crucial car il fournit une visualisation du processus, ce qui permet de contrôler le flux de matériaux et d'informations et facilite l'identification des déchets.

Le quatrième principe est *le système Pull* (tirer un flux) qui implique que chaque client appelle la production de l'étape précédente (Spear & Bowen, 1999) à la demande. Le système Pull est fonction de la demande de client par la technique de planification de la production. Il s'agit également d'offrir au client un produit à valeur ajoutée qui correspond à ses besoins.

Le cinquième principe fondamental est *l'amélioration continue* ou bien la perfection, par la révision et la correction continues des processus. Il s'agit d'un processus d'amélioration continue visant à apporter de nouvelles idées et à éliminer de nouveaux déchets en triant les activités à valeur ajoutée, de sorte que toutes les activités soient réalisées de manière à ce que le flux de valeur crée de la valeur (VA) et des activités sans valeur ajoutée (NVA) (Rother & Shook, 2003) , (Gothelf, 2013), (Staats et al., 2011), (Ohno, 1988). Par ailleurs, Bruun et Mefford ont identifié six principes du Lean management notamment la réduction des stocks (Bruun & Mefford, 2004). Par la suite, le chercheur Liker a proposé de développer l'approche Lean selon 14 principes illustrés dans la Figure 4. (J. K. Liker, 2008).

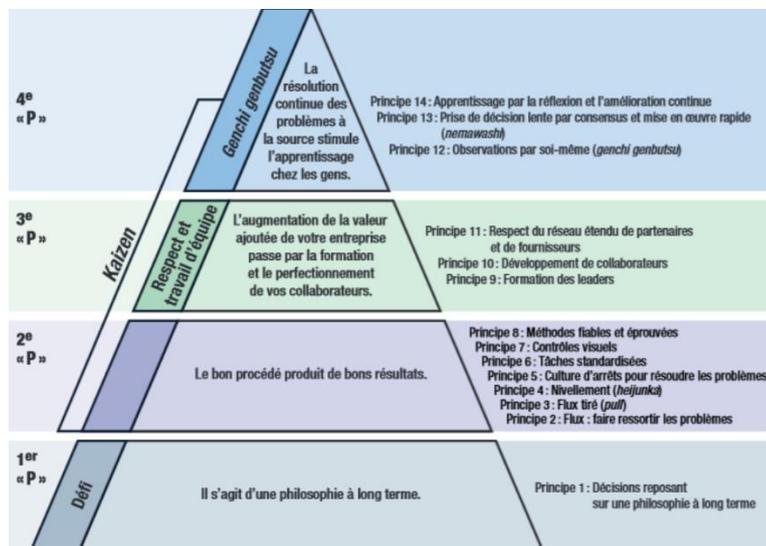


Figure 4: Les 14 principes de LIKER .(J. K. Liker, 2008).

Lorenzo considère que les 14 principes de Liker (J. K. Liker, 2008) correspondent au déploiement des cinq principes de base proposés par (J. Womack & Jones, 1990). (Lorenzon, 2008).

## 2.6 *La bibliométrie du Lean management*

Au cours des 25 dernières années, plusieurs études ont reconnu les avantages d'une mise en œuvre de la technologie Lean. Palmer a publié son premier article en 2001 qui est un rationnel qui motive la nécessité du retrait de la Muda, qui a fait l'objet d'une discussion préalable à la discussion de l'événement de Kaizen, il s'agit notamment de l'idée d'une entreprise allégée. Nave et Bossert ont été parmi les premiers à discuter des bases des deux méthodologies d'amélioration LEAN pour éliminer les déchets (Nave, 2002) ;(Bossert, 2003). Des documents de référence ainsi que des documents empiriques et des analyses documentaires ont prouvé la capacité de la production allégée (LP) à :

- (i) éliminer les incohérences, les déchets et les activités sans valeur ajoutée des processus,
- (ii) réduire les stocks,
- (iii) produire le produit requis, au bon moment, en bonne quantité,
- (iv) améliorer la qualité (Jasti & Kodali, 2015).

Les résultats de cette étude ont reflété la pertinence permanente du Lean management ; en effet, les dernières orientations de recherche identifiées dans le WOS (Web of Science) ont mis en évidence son lien avec les questions de plus en plus d'actualité concernant l'Industrie 4.0. Les principales tendances identifiées sont l'intérêt accru pour l'étude du Lean dans le contexte de l'Industrie 4.0 et dans leur combinaison avec l'optimisation, Six Sigma, ainsi que la durabilité. prouvant que ces derniers visent à mieux soutenir les décideurs dans la conception et l'amélioration des systèmes (Goienetxea Uriarte, Ng, & Urenda Moris, 2020).

Toutefois, Ciano et al , (Ciano, Pozzi, Rossi, & Strozzi, 2019) ont confirmé également l'intérêt croissant pour le lien entre Lean et Industrie 4.0 en visant à éliminer le gaspillage des processus des entreprises pour les rendre plus efficaces et accroître leur compétitivité.

L'importance du Lean management comme sujet de recherche sur la production est confirmée si l'on considère le sous-ensemble de littérature représenté par les articles publiés Web of Science (WOS).

En raison du nombre croissant de recherches dans ce domaine de la gestion allégée comme méthode d'amélioration de la qualité et de réduction des déchets, une analyse et un bilan des différents types de travaux publiés en rapport avec le Lean management ont été réalisés. En effet, cette étude comprend une analyse bibliométrique utilisant des données obtenues à partir de la base de données en ligne du Web of Science en date du 04/04/ 2020. Sur la base des résultats de la recherche par "mot-clé", l'étude a finalisé 3069 documents valides pour une analyse plus approfondie pour les 5 dernières années. Le visualiseur VOSViewer a ensuite été utilisé pour la représentation des données (Van Eck & Waltman, 2009). En utilisant des indicateurs bibliométriques standard, nous avons rapporté les résultats en classant les documents publiés en fonction de leur domaine d'intérêt sous forme de résumés, d'analyse des citations et de répartition géographique des publications.

Cette partie sert de référence pour les professionnels, les chercheurs et les universitaires travaillant sur le Lean management. Le domaine de l'examen est suffisamment large pour attirer les personnes des secteurs de l'Industrie, de la santé, de la construction. Ainsi, les différentes méthodologies, approches et cadres de travail examinés dans ce chapitre peuvent servir de référence pour ceux qui souhaitent intégrer le Lean management comme outil de travail.

## **2.7 Description de la méthodologie de l'étude bibliométrique**

Cette étude vise à explorer l'état actuel du Lean management à travers la bibliométrie qui est la science transversale de l'analyse quantitative de tous les supports de connaissance par des méthodes mathématiques et statistiques (Merigó, Cancino, Coronado, & Urbano, 2016). Le principal avantage de la bibliométrie est qu'elle permet aux chercheurs d'étudier un domaine de recherche spécifique en analysant les citations, les co-citations, la répartition géographique et la fréquence des mots, pour en tirer des conclusions très utiles. Jusqu'à présent, la bibliométrie a été largement utilisée pour l'analyse des mots-clés, l'analyse des co-auteurs, l'analyse des co-citations (Merigó, Blanco-Mesa, Gil-Lafuente, & Yager, 2017) et le développement de l'ensemble des domaines de recherche (Merigó & Yang, 2017). Au total, nous analysons 3069 références des cinq dernières années qui ont été téléchargées sur le Web of Science.

Une étude bibliométrique systématique a été réalisée en vue d'étudier ce domaine de recherche hétérogène. Cette méthodologie a été choisie en raison de sa capacité à traiter un grand nombre de données et à identifier les schémas entre eux. En outre, elle soutient l'identification des tendances de recherche les plus étudiées. Cette procédure se déroule en cinq étapes :

- ✚ Analyse : L'élaboration des données dans un logiciel de bibliométrie ;
- ✚ Visualisation : Choix de la méthode de visualisation ;
- ✚ Interprétation : illustration des résultats.

En particulier, pour étudier le domaine LM, les auteurs ont adopté une technique d'analyse des mots associés (Callon, Courtial, & Laville, 1991), qui analyse la cooccurrence des mots-clés. L'analyse est effectuée à l'aide d'un logiciel appelé VosViewer (Van Eck & Waltman, 2009) qui gère différentes données bibliométriques (par exemple, analyse de co-citations, co-auteurs) et qui est reconnu comme étant réellement précis dans le cadre d'une analyse des mots associés. (Zupic & Čater, 2015).

Cette bibliométrie est conçue pour atteindre les objectifs suivants :

- ✚ Construire un contexte complet sur le sujet de recherche en couvrant le Lean management.
- ✚ Faire apparaître le lien entre le Lean management, la performance, la qualité, l'Industrie 4.0 et les déchets par le biais de la bibliométrie.

La collecte de documents de Web of Science (WoS) se concentre sur le nombre de publication par an, les domaines, la citation des auteurs, la distribution géographique et les mots clés.

### 2.7.1 Les publications par an

La Figure 5 résume les statistiques détaillées des publications annuelles sur le Lean management de 2016 à 2020. Selon les données du Web of Science, la croissance sur la publication correspondante au LM est un peu lente au cours des années précédentes jusqu'à ce qu'elle commence à se redresser en 2019. Le plus grand nombre de publications de ces 5 dernières années est observé en 2018, avec un total de 800 documents.

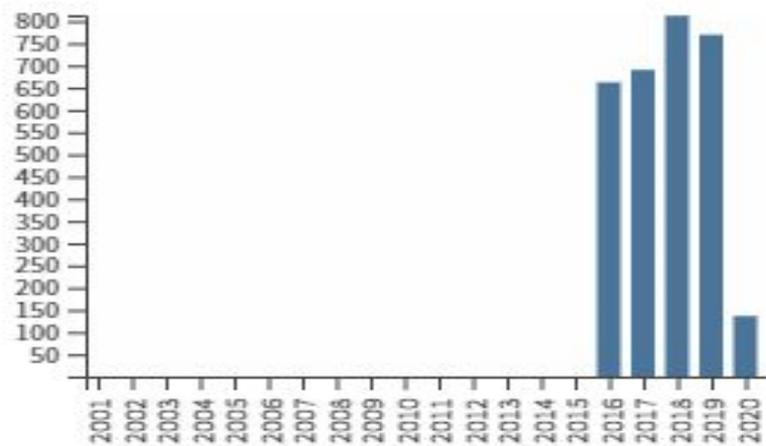


Figure 5: "Publications du Lean management par an. Source : Web of Science (WOS)

### 2.7.2 Domaines d'application du Lean management

Cette étude présente une classification des documents publiés dans la base de données du Web of Science sur le Lean management, comme le résume (Figure 6). L'analyse a été réalisée pour identifier la répartition des domaines dans lesquels le Lean management a été utilisé. Ces données reflètent également la diversité des domaines académiques dans lesquels le Lean management est utilisé. Dans l'ensemble, la répartition montre que la recherche sur le Lean management émerge dans une variété de domaines allant du management, de la production manufacturière et Industrielle, de l'économie d'entreprise, de l'ingénierie, des sciences de la santé, de la gestion des opérations. Comme indiqué, environ la moitié des documents examinés se situent dans le domaine du management (22,51%), de l'ingénierie Industrielle (18,05%), suivi de l'Industrie manufacturière (11,33%). On peut constater qu'il existe une certaine équité entre le management et l'Industrie plus que la production Industrielle, et cela est logique car. Historiquement, le Lean a non seulement remis en question les pratiques acceptées de production de masse dans l'Industrie automobile, mais elle a également réussi à remettre en question les pratiques acceptées de production de masse de l'Industrie, à modifier de manière substantielle le compromis entre productivité et qualité, qui a également conduit à repenser une large gamme de produits manufacturés et d'opérations de service au-delà de l'environnement de fabrication répétitive à grand volume (Holweg, 2007).

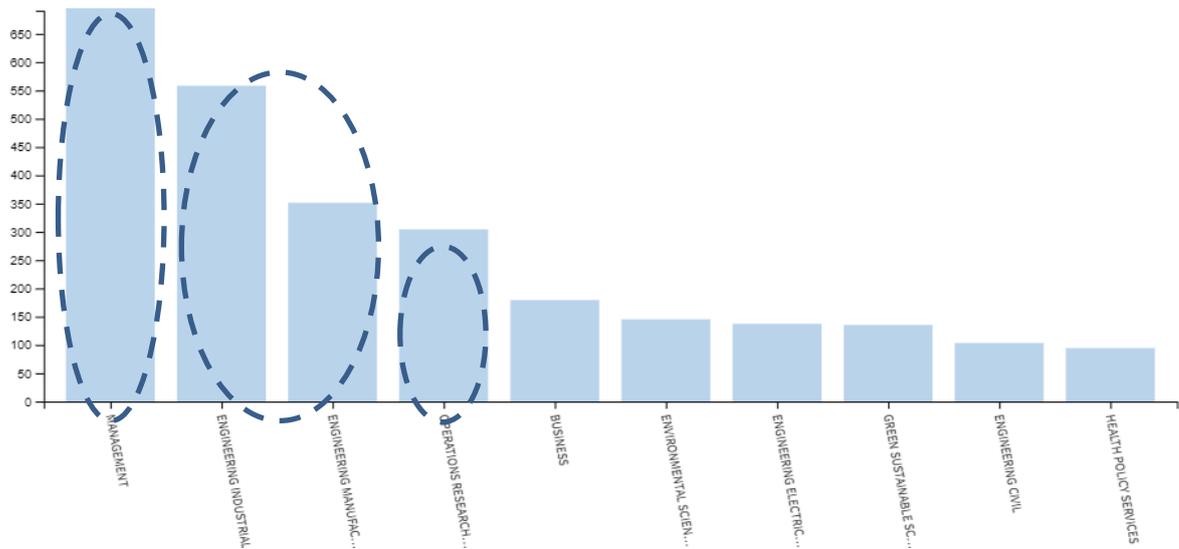


Figure 6: Domaines d'application du Lean management. Source : Web of Science

### 2.7.3 Citations des auteurs

Le nombre de citations est le principal facteur qui reflète la qualité d'un article. Sur la base de l'analyse des données du Web of Science, une analyse du réseau de citations a été effectuée pour révéler la citation des liens et des sujets de recherche des 3069 articles analysés. Le [Tableau 2](#) présente les 8 articles des auteurs les plus cités (sur la base du nombre de fois où ils sont cités).

Tableau2: Citations des auteurs. Source : Web of Science

<i>Auteurs :</i>	<i>Documents :</i>	<i>Citations :</i>
Arici,tugkan	2	0
Dekkers,r	3	0
Godinho filho,moacir	2	90
Gok,m.sahin	2	0
Jasti, naga vamsi krishna	2	9
Kodali,rambabu	2	9
Koskela,lauri	2	59

<i>Auteurs :</i>	<i>Documents :</i>	<i>Citations :</i>
Sunder,vijaya m	4	98

En plus du nombre de citations rapporté par WoS, ce tableau indique également le nombre total de citations de chaque auteur ainsi le nombre d'articles qu'ils ont publiés, Vijaya Sunder M a publié le plus grand nombre d'articles. Il reçoit ainsi de loin le plus grand nombre de citations, (98 citations avec 4 articles). Il est reconnu dans le monde entier comme un leader de la méthodologie Lean Six Sigma pour atteindre et maintenir l'excellence des processus. Vijaya Sunder M est professeur adjoint en gestion des opérations à l'Indian School of Business (ISB). Les intérêts de recherche de Vijaya couvrent l'excellence opérationnelle, la gestion de la qualité et l'Industrie 4.0. Ses domaines d'expertise comprennent le Lean, Six Sigma, l'automatisation des processus robotiques, l'amélioration continue et révolutionnaire des processus et la transformation des activités dans l'ensemble des services. Il a publié plusieurs articles de recherche dans des revues universitaires à comité de lecture reconnues au niveau international, ainsi que dans des revues et magazines basés sur la pratique. Il est le récipiendaire du prix de recherche de l'Institut IIT Madras en 2018 (pour la catégorie du meilleur chercheur), dans le domaine de la gestion de la qualité. Il a reçu le prix d'excellence mondial Emerald Literati et le prix du document de recherche hautement recommandé en 2017 et un prix d'examineur exceptionnel en 2018, tous deux décernés par la maison d'édition Emerald.

Vijaya possède 15 ans d'expérience en entreprise dans le domaine de l'excellence opérationnelle. Avant de rejoindre l'ISB, il était responsable de l'excellence des processus au sein du Groupe de la Banque Mondiale et avait auparavant travaillé chez Barclays, American Express et Citi dans différentes fonctions de direction. Il est un Black Belt Six Sigma Master, PMP, ISO 9001: 2015 Lead Auditor et Lean Master Facilitator. Il a dirigé et encadré divers programmes de réingénierie et d'amélioration des processus qui ont aidé à améliorer l'expérience des clients, la satisfaction des employés, à éliminer les défauts de processus, à augmenter la productivité et à réduire les coûts dans les entreprises réputées.

Vijaya est titulaire d'un doctorat en excellence opérationnelle de l'Institut Indien de Technologie (IIT) de Madras, d'un MBA du Sri Sathya Sai Institute of Higher Learning et

d'une médaille d'or en ingénierie de l'Université Anna. Son article le plus cité avec 36 de citations s'intitule : « faillure of continuous improvement initiatives in manufactruing enviremnents : a systmatic review of the evidence » (McLean, Antony, & Dahlgard, 2017). L'objectif de cet article est de fournir une revue systématique de la littérature expliquant pourquoi les initiatives d'amélioration continue dans les environnements de fabrication peuvent échouer. L'article décrit le protocole d'examen systématique suivi et le raisonnement associé, suivi par Godinho Filho et al. avec 90 citations et 2 documents.

#### 2.7.4 La distribution géographique des publications qui traitent le Lean management dans le monde

L'analyse des pays est une forme importante d'analyse des coauteurs. Elle peut refléter le degré de communication entre les pays ainsi que les pays influents dans ce domaine. Les pays concernés par le réseau de co-auteurs des publications liées au Lean management sont présentés (Figure 7). Plusieurs couleurs sont représentées sur la carte, ce qui montre la diversification des axes de recherche. Les grands nœuds représentent les pays influents. Les liens entre les nœuds représentent les relations de coopération entre les instituts. La distance entre les nœuds et la densité des liens représentent le niveau de coopération entre les pays. Dans l'ensemble, des chercheurs de 25 pays différents ont contribué à la publication dans le domaine du Lean management.

La distribution des publications sur le Lean management est inégalement répartie dans le monde et que le centre de recherche sur le Lean management est situé aux Etats-Unis. En tête de liste, il se trouve les États-Unis d'Amérique (USA) avec un total de 449 (30,5%) articles, suivis de l'Angleterre 236 (7,2%), de l'Inde 204 (14,3%), et la France est classée 10ème avec 80 articles. Le Japon et l'Algérie n'ont pas contribué à la productivité dans ce thème de recherche.

Il n'est pas surprenant que l'Amérique du Nord, l'Angleterre et certains pays européens dominant, car ils ont historiquement un passé Industriel et disposent d'une infrastructure technologique plus avancée que d'autres régions du monde. Comme les Américains ont été parmi les premiers à s'engager dans ce domaine, il semble que Toyota était très consciente de son avantage en termes de productivité à l'époque. Le Dr Monden a également relevé un document d'Anderson Ashburn dans *American Machinist* en juillet 1977, ainsi qu'une

publication antérieure (Samuel, Found, & Williams, 2015) . Mais l'Inde et le Brésil, les deux pays dits BRIC (O'Neil, 2001) ,figurent également parmi les cinq premiers.

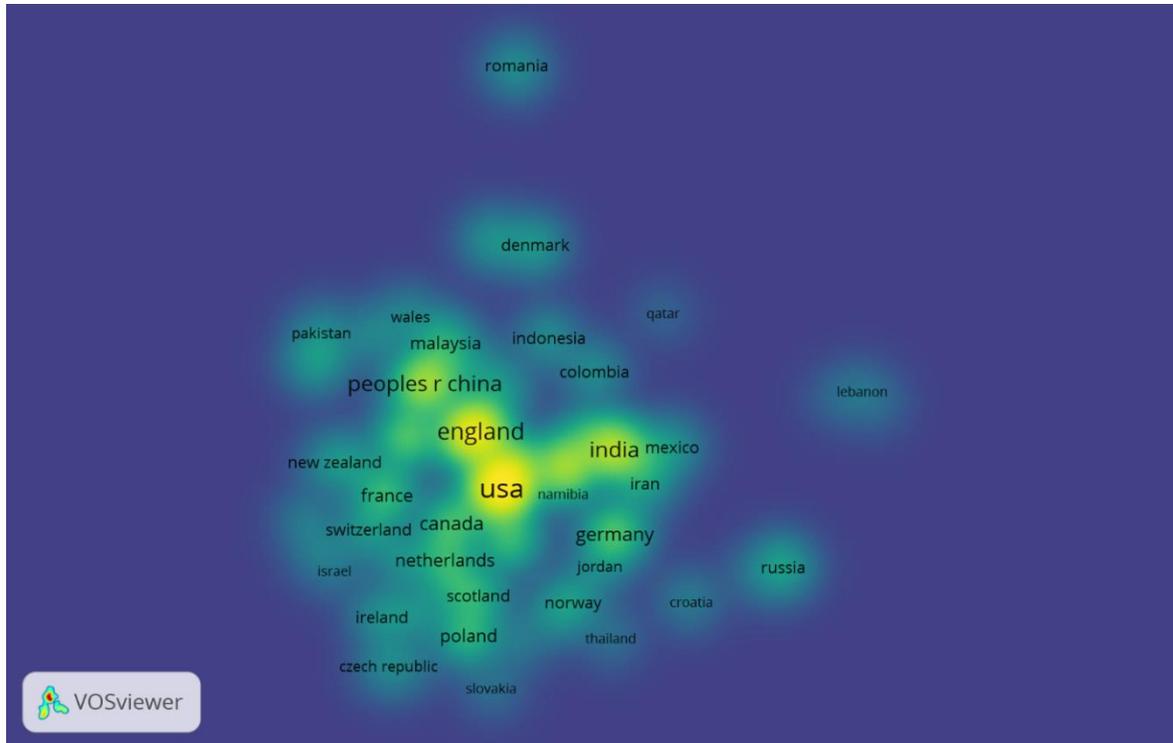


Figure 7: Visualisation du réseau de la distribution géographique des publications qui traitent le Lean management. Source : Auteur.

La mondialisation des entreprises américaines et européennes vers ces pays a probablement suscité un intérêt pour les domaines du Lean management et cette tendance devrait continuer à s'accroître. Depuis des années, les fabricants et les développeurs travaillant dans ces deux économies les plus dynamiques du monde ont dû trouver des moyens de travailler plus intelligemment pour réduire les coûts et continuer à attirer des entreprises. Alors que de nombreux services et Industries manufacturières à travers le pays ont mis en œuvre du LM comme outil pour améliorer leur performance organisationnelle, il reste un grand écart dans sa mise en œuvre afin de profiter pleinement les avantages de la fabrication allégée. Bradley R Staats de l'Université de Caroline du Nord, a aidé l'entreprise de logiciels Wipro à mettre en œuvre sa stratégie de gestion Lean en Inde et au Brésil.

### 2.7.5 Analyse des mots clés

Aux fins de l'analyse des mots-clés, les auteurs ont cartographié les mots-clés fournis pour chaque article à l'aide de logiciel VOS viewer, qui est un outil de construction et de visualisation de données bibliométriques (Figure 8).

Les réseaux de mots-clés extraits des termes de la liste de mots-clés fournis par l'auteur d'une publication. Le nombre de cooccurrences de deux mots-clés est le nombre de publications dans lesquelles les deux mots apparaissent ensemble. Dans cette étude, les réseaux ont été créés pour identifier les termes les plus utilisés dans les publications et leurs cooccurrences au fil des ans, en tenant compte de chacun des domaines d'application du Lean management, (Figure 8), qui présente une visualisation du réseau des " mots-clés de l'auteur produite par le Vos Viewer dans laquelle la couleur, la taille des cercles, la taille de la police et l'épaisseur des lignes de connexion indiquent la force de la relation entre les mots-clés.

Les mots les plus fréquemment cités ont été divisés en 10 groupes : gestion, performance, mise en œuvre, impact, cadre de la production allégée, réduction des déchets, Industrie 4.0 et qualité.

De même, les mots-clés apparentés indiqués par la même couleur sont généralement listés ensemble. Par exemple, Lean, six sigma, Lean six sigma, implémentation, qualité, analyse empirique et Industrie automobile sont étroitement liés et sont généralement listés ensemble. La conclusion est que la mise en œuvre, le Lean six sigma, les six sigmas, le Lean et la gestion de la qualité sont tous logiquement liés, non seulement parce qu'il y a une similitude en termes de buts et d'objectifs et d'outils, mais aussi parce que le vert est lié au Lean et à d'autres mots clés (Antony, Rodgers, & Cudney, 2019). Elle est cependant particulière parce que l'un des principes de la gestion de la qualité appelle une approche proactive pour créer un climat et une structure organisationnelle plus réceptifs et plus favorables au déploiement de nouvelles politiques. Ce qui explique la relation entre l'écologie et la mise en œuvre dans la Figure 3, (Boiral, 2006) afin que l'adoption de pratiques allégées liées à la durabilité et à la responsabilité sociale des entreprises continue de croître (Kuei & Lu, 2013). Des recherches antérieures ont fait allusion à la relation entre les deux domaines : le "Lean est green" (Floride, 1996) et la réduction des déchets "faire plus avec moins", semble apporter



sujets discutés par les auteurs est le manque de partage des expériences acquises par les employés au cours du processus d'implantation du système.

Le management, l'Industrie manufacturière et les opérations managériales sont les domaines qui sont principalement ciblés par le Lean management. Les états unis et l'inde sont les pays les plus productifs dans ce domaine du Lean management. L'analyse bibliométrique présentée dans ce document a permis d'établir la structure intrinsèque des publications sur Lean management pendant les 5 dernières années (2016-2020). Ceci est nécessaire pour le domaine émergent comme LSS afin que la recherche puisse sonder la hiérarchie des publications dans ce domaine.

## **2.8 Les outils du Lean management**

Un outil est défini dans PMBOK 5ème édition. 2013. p554 comme étant « *un élément tangible, tel qu'un modèle ou un logiciel, utilisé lors de l'exécution d'une activité pour générer un produit ou un résultat* ».

Plutôt que d'adopter un ou deux outils de manière isolée, il est suggéré qu'il est important que les entreprises de s'engager dans la plupart, pour ne pas dire la totalité, des outils énumérées ci-dessous :

Les méthodes du Lean management sont appliquées au travers des outils (parfois confondus avec les méthodes), ce qui signifie que quelques outils sont des méthodes en même temps, étant donné qu'un outil est un outil de travail et que la différence entre la méthode et l'outil peut être la façon de fonctionner, les deux notions sont donc souvent confondues pour certains utilisateurs. Par conséquent, nous présentons ci-dessous la collection d'outils de Lean management qui sont répertoriés en fonction des objectifs recherchés, que nous présenterons sous la forme d'un tableau récapitulatif (tableau 3).

L'étape suivante a consisté à analyser l'application des outils Lean, à l'instar de Netland (Netland, 2013). Le [Tableau 3](#) résume les 32 outils du "Toyota Production System" de 'Ohno (Ohno, 1988), le "Lean thinking" de Womack et Jones (J. P. Womack & Jones, 1996), le "Lean manufacturing": Context, bundles, and performance" (Shah & Ward, 2007) de Shah et Ward, et complété par "The Toyota Way" (Morgan & Liker, 2006) de Liker, de Sanders et al (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016) et (Wagner, Herrmann, & Thiede, 2017).

Tableau 3: Le tableau récapitulatif des outils du Lean management. Source : Auteurs.

<i>Les outils du Lean :</i>	<i>Ohno</i>	<i>Womack &amp; Jones</i>	<i>Shah &amp; Wang</i>	<i>&amp; Liker</i>	<i>Sanders</i>	<i>Wanger, Harman and Thiede</i>
<b>Jidoka/automatisation</b>	X			X		
<b>Value stream mapping</b>	X	X		X		
<b>Mesures de performance</b>	X		X			
<b>Flux d'orientation :</b>	X	X	X			X
<b>Amélioration continue/kaizen</b>	X	X	X	X		
<b>La qualité totale /TQM</b>	X		X	X		
<b>Leadership :</b>	X			X		
<b>Participation des employés :</b>	X			X		
<b>Le travail d'équipe :</b>	X		X	X		X
<b>La flexibilité :</b>	X					
<b>Heijunka</b>	X		X	X		X
<b>Une technologie nouvelle et efficace</b>	X		X			
<b>Visual management</b>	X			X		
<b>La communication</b>	X					

<i>Les outils du Lean :</i>	<i>Ohno</i>	<i>Womack &amp; Jones</i>	<i>Shah &amp; Wang</i>	<i>&amp; Liker</i>	<i>Sanders</i>	<i>Wanger, Harman and Thiede</i>
2.8.1 Single-Minute Exchange of Dies : SMED (Échange d'une minute de matrices) :	X		X	X		
Reduction of batch size	X		X			
Standardised work	X			X		X
Inventory management (muda)	X					X
Take time	X			X		
Maintenance (TPM)	X		X			
Pull système/kanban			X	X	X	X
Orientation client :		X				
benchmarking		X				
Order and material planning			X			
HSE /Hygiene, sécurité environnement			X			
Lean supply chain .			X			
Vision, culture, de l'organisation				X		
Pokayoke					X	
Andon					X	X
5S						X

*Les outils du Lean :*

*Ohno*

*Womack & Jones  
& Shah Wang*

*& Liker*

*Sanders*

*Wanger, Harman and Thiede*

**Statistical process control :**

X

## **2.9 Déploiement du Lean : enjeux et limites**

la méthode Lean ne doit pas être considérée comme un ensemble d'outils ou de principes indépendants, mais plutôt un ensemble de systèmes. De ce fait, Womack et Jones recommandent que certains principes soient mis en œuvre en même temps (Womack et Jones, 2005). La méthode Lean est définie comme étant une approche générale dans laquelle les principaux facteurs qui la composent interagissent. A titre d'exemple, le diagnostic n'est rien sans un plan d'action réalisable, qui à son tour n'aurait aucun impact si le personnel n'était pas formé de manière appropriée (Baglin et Capraro, 1999). Ce point de vue sur la mise en œuvre du Lean est également partagé par certains autres auteurs (Koskela, 2004 ; Doolen et Hacker, 2005 ; Hicks, 2007).

Appliquer le Lean dans toute organisation est une activité qui prend du temps en raison d'une approche de couverture complète pour transformer l'ensemble de l'entreprise en changeant la culture selon les principes du Lean. Adopter le Lean dans une organisation de services prend un temps considérable. Une estimation de la durée des phases pourrait être que les deux premières phases ont besoin d'environ 1,5 - 2,5 ans avant d'atteindre la maturité et que la dernière phase est par définition une phase continue et infinie. Le déploiement ne doit être considéré uniquement comme une ligne directrice pour la mise en œuvre du Lean dans l'organisation des services mais il ne s'agit pas d'une recette globale pour le mettre en œuvre avec succès. Il doit être considéré comme une feuille de route, qui peut être adaptée aux besoins spécifiques de l'organisation de services.

## **2.10 Les facilitateurs et les obstacles du déploiement du Lean management**

Dans cette section, nous analysons les facilitateurs et les obstacles au déploiement du Lean management afin de recueillir les aspects clés pour aider à élaborer la proposition d'un modèle de maturité Lean (un des objectifs de la thèse).

### **2.10.1 La revue de la littérature des facilitateurs et les obstacles du déploiement du Lean management**

Il n'existe pas de recette unique pour mettre en œuvre la méthode "Lean management", en effet, chaque organisation est différente en termes de secteur, de produit et de service. Ainsi, le processus de la reproduction d'une autre organisation Lean est un peu précieux, car le Lean management dépend des dimensions suivantes : la stratégie, le

leadership ,les clients , la culture ,et la gouvernance organisationnelle et les technologies variant d'une organisations à une autre (Bhasin, 2013).

Il est essentiel de comprendre les obstacles et les facilitateurs de la mise en œuvre du Lean management pour réussir. Ces obstacles et facteurs limitent ou soutiennent le Lean management pour qu'il devienne une méthode solide d'amélioration des processus dans toute l'organisation. Afin de mieux comprendre la nature de ces obstacles et de ces facteurs, ces derniers ont été classés en neuf dimensions organisationnelles à partir de l'analyse de la littérature : stratégie, leadership, client, culture, production, opérations, ressources humaines, gouvernance organisationnelle et technologie ([Tableau 4](#))

Tableau 4: Les obstacles et les facilitateurs du Lean management. source : Auteurs.

<i>Dimensions :</i>	<i>Obstacles :</i>	<i>Facilitateurs :</i>	<i>Sources :</i>
1. Stratégie	-manque De perspectives stratégiques. -absence de communication entre les parties prenantes. -la méconnaissance de la méthode Lean management.	-une vision claire. - Existence de groupes de recherche sur le Lean et ces initiatives. -une communication claire. -L'implication de toutes les parties prenantes de l'organisation. -le support du top management.	- (Radnor, Walley, Stephens, & Bucci, 2006) -(Bhasin, 2013), -(Leite, Bateman, & Radnor, 2016), (Bayhan, Demirkesen, & Jayamanne, 2019),
2. leadership	- le manque d'implication de leadership. -le manque de responsabilisation des employés. -le système de management.	-top management support. -le leadership donne du pouvoir aux membres de l'équipe.  - l'engagement de l'application du management.	-(Leite et al., 2016) , (Bayhan et al., 2019).(Parmar & Desai, 2020)
3. Clients	-demande incertaine. -la faible performance des fournisseurs et des clients.	-faire correspondre la demande et les capacités -l'amélioration continue. -la satisfaction de client.	(Bayhan et al., 2019), (Leite et al., 2016).
4. Production	- l'absence de la certification iso 9001. -Manque de soutien externe de la part du gouvernement, des fournisseurs, les clients et les consultants externes	- la concentration sur la croissance de leur entreprise. -l'amélioration des relations entre les parties prenantes.	(Caldera, Desha, & Dawes, 2019),(Belhadi & Touriki, 2017)
5. Opérations	- Manque de sensibilisation -Manque d'éducation - Manque d'expertise -Incompatibilité du Lean avec les systèmes de primes, de récompenses ou de mesures incitatives de l'entreprise	-la concentration sur la croissance de leur entreprise ainsi que la minimisation de leur consommation. -Mauvaise configuration des installations et de l'aménagement	(Caldera et al., 2019), (Belhadi & Touriki, 2017).
6. Culture	-l'absence de la maîtrise du Lean management.	-changement de la culture de l'entreprise.	-(Leite et al., 2016)

<i>Dimensions :</i>	<i>Obstacles :</i>	<i>Facilitateurs :</i>	<i>Sources :</i>
	-manque de développement des compétences du personnel. -l'insuffisance de la compétence du personnel.	-formation du personnel sur le Lean management. -explication des outils du Lean management.	(Bayhan et al., 2019),(Belhadi & Touriki, 2017)
7. Ressource humaine (employés):	-le manque des ressources qui maitrisent le Lean management. - résistance au changement.	-l'engagement des employés. -formation des employés. - Un environnement favorable pour l'efficacité du personnel. - Existence d'un personnel certifié et qualifié Lean. -Récompense et reconnaissance des membres de l'équipe	-(Leite et al., 2016).
8. Gouvernance	-le manque d'engagement pour la mise en œuvre du Lean management. -résistance aux changements. -la culture et la structure organisationnelles. -Avantages pour la gouvernance.	-amélioration des règles du gouvernement et du Règlements de l'entreprise. - La nature favorable de l'aide gouvernementale réglementation en matière de Lean management. -consacrez des ressources à plein temps à la maitrise du Lean management. -une culture qui suscite l'engagement du personnel par rapport au Lean management. -amélioration de la culture de l'organisation.	-(Leite et al., 2016) (Bayhan et al., 2019) (Parmar & Desai, 2020)
9. Technologies	-le manque d'expérience. -les outils du Lean.	-système de management d'information visuelle. -mesures et systèmes de mesure.	-(Leite et al., 2016) (Bayhan et al., 2019)

## Synthèse

Cette analyse des obstacles et des facilitateurs présentés dans (Tableau 4) se démarque des autres parce qu'elle constitue une synthèse élaborée en se basant sur 5 autres références dans laquelle est mise en évidence l'importance de commencer la transformation à partir du paradigme du Lean management et de préparer la mise en œuvre (faciliteurs du Lean). Elle souligne l'importance du Lean management pour assurer l'amélioration continue des organisations et pour répondre aux exigences des clients et ce en relation avec les neuf dimensions organisationnelles de la maturité mentionnées par Schumacher et al (Schumacher, Erol, & Sihn, 2016).

Entre autres, des obstacles empêchent le processus de rationalisation organisationnelle, notamment le manque de communication, la résistance des dirigeants, le manque de ressources, et l'absence du volet management au sein de l'entreprise (Parmar & Desai, 2020). D'autre part, les facilitateurs agissent en soutenant la mise en œuvre et en pérennisant le processus à long terme, comme une culture organisationnelle forte, une gestion l'engagement et la compréhension de la direction ainsi qu'une communication efficace (Leite et al., 2016).

### **2.11 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons cherché à identifier les éléments théoriques essentiels au fonctionnement du Lean management. Le Lean est : « Le Lean management ou "pensée Lean" est une pratique qui aide les organisations à identifier et à éliminer le gaspillage par l'amélioration continue, en gérant leurs outils Lean. Le Lean recense sept types de gaspillage : la surproduction, l'attente, le transport, les défauts, le traitement inapproprié, les stocks inutiles et les mouvements inutiles. L'objectif de l'élimination de ces types de gaspillage peut accroître l'efficacité, réduire les coûts, améliorer la satisfaction des clients et réduire les coûts de production. et contribuer à améliorer la qualité, la rentabilité et le temps de réponse.

Pour ce faire, nous avons présenté les principes du Lean du point de vue de Liker et Womack, les 7 types de Muda et le déploiement du Lean dans les organisations de construction, la bibliométrie de 3069 articles sur le Lean management dans la base de données Web of Science en date du 04/04/ 2020. Cette base de données permet aux chercheurs d'étudier ce domaine de recherche en analysant les citations, les co-citations, la

répartition géographique et la fréquence des mots, pour en tirer des conclusions très utiles à ce jour.

En outre, les obstacles et les facilitateurs du déploiement du Lean management au sein des organisations de construction ont été étudiés, en effet cette analyse se démarque des cinq autres travaux. L'objectif de cette analyse a été de recueillir de suggestions pour aider à développer une nouvelle proposition de méthodologie pour la mise en œuvre du Lean management au sein des organisations de construction en relation avec les nouvelles dimensions du Lean management citées dans la revue de la littérature.

## CHAPITRE III : INDUSTRIE 4.0

### 3.1 Introduction

A l'ère du numérique, les stratégies de conception et de fabrication, ainsi que la gestion des services et de l'ingénierie qui reposent uniquement sur les décisions du fabricant sans tenir compte des besoins individuels des clients, ont du mal à attirer les désirs de ces derniers. Dans cette société de plus en plus connectée, les produits individualisés et leurs services sont plus demandés que ceux produits en masse (Y. Xu, Chen, & Zheng, 2016). L'inclusion de technologies numériques avancées permet à l'innovation d'améliorer et d'individualiser l'expérience du client en répondant à ces besoins et souhaits (Saldivar, Goh, Li, Chen, & Yu, 2016). Ces circonstances ont amené les entreprises à réagir en mettant fortement l'accent sur le client, et l'amélioration des processus (Prinz et al., 2016).

Depuis la révolution Industrielle, et l'Industrie manufacturière, le développement des tests a toujours été motivé par les nouvelles technologies pour faciliter les améliorations telles que l'augmentation du débit, la réduction des temps d'arrêt et la réduction des coûts (Moghaddam, Cadavid, Kenley, & Deshmukh, 2018). En outre, les systèmes modernes de gestion de la qualité des produits devraient réduire le cycle de vie des produits, augmenter la variété des produits, personnaliser les produits en masse et réduire le délai de mise sur le marché (Azzi, Battini, Faccio, & Persona, 2012; Nee, Ong, Chrysolouris, & Mourtzis, 2012). La récente convergence du développement des technologies qui a conduit à la norme I4.0 est une étape importante pour accroître le rendement, réduire les coûts et augmenter les temps d'arrêt. Cette norme I4.0 représente la transformation complète de l'ensemble de la production Industrielle à un moment où les machines et les parties ne seraient pas seulement conscientes de leur état. Le nouveau paradigme appelé Industrie 4.0 ou quatrième révolution Industrielle a émergé dans de nombreux secteurs et services. Il fait référence à l'optimisation des processus, qui est menée par le Cloud, l'Internet des objets, les technologies de détection et de réponse en temps réel, les services basés sur le Cloud, l'analyse de données importantes, la robotique, l'intelligence artificielle et l'impression 3D. Cela permet la création d'un réseau intelligent de machines, de produits, de composants, de propriétés, de personnes et de systèmes TIC tout au long de la chaîne de valeur pour créer une usine intelligente.

Toutes ces évolutions et tendances nous ont amenés à étudier l'impact de l'Industrie 4.0 sur la manière dont les services et les entreprises sont gérés pour atteindre la satisfaction du client. Au cours de ce chapitre nous aborderons tout d'abord l'importance de cette "révolution Industrielle", la façon de progresser avec les concepts, sa définition, les technologies de l'Industrie 4.0, et ses principes. Les facilitateurs et les avantages de l'Industrie 4.0 seront également discutés.

### **3.2 Définition**

Le terme "Industrie 4.0" est un concept qui a vu le jour en Allemagne en 2010, et a été introduit pour la première fois dans le public par la GEF (Fédération allemande des ingénieurs) en 2011 à la Foire de Hanover. Il a été initialement défini comme l'automatisation et la numérisation des chaînes d'approvisionnement permettant de passer à un niveau de connectivité plus élevé qui favoriserait un environnement de fabrication plus intelligent. (Malavasi & Schenetti, 2017).

L'Industrie 4.0 et ses technologies sont de plus en plus présentées comme essentielles pour améliorer la productivité des entreprises manufacturières. En privilégiant la communication instantanée entre les machines et les objets, il est possible de rendre les systèmes de production plus flexibles pour changer de produits et plus réactifs aux événements inattendus. Bien qu'un consensus sur la définition de l'Industrie 4.0 n'ait pas encore été atteint (il existe plus de 100 définitions différentes du terme "Industrie"). Selon Moeuf et al. (Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo, & Barbaray, 2018), certaines définitions ont été proposées :

Le terme "Industrie 4.0" fait référence à une évolution technologique qui fonctionne avec l'intégration du système cyber physique avec l'internet des objets et des services (IoT) et (IoS) qui apporte l'aspect de l'intelligence décentralisée dans la fabrication (Rajput & Singh, 2019).

L'Industrie 4.0 fournit une vision de l'avenir dans laquelle l'Industrie manufacturière et les entreprises augmenteront leur efficacité et leur compétitivité, grâce à la coopération et à l'interconnexion de leurs ressources internes et externes avec leur chaîne de valeur (Malavasi & Schenetti, 2017).

L'Industrie 4.0 influence l'environnement manufacturier par des changements radicaux dans l'exécution des opérations, en remplaçant la planification de la production conventionnelle

basée sur les prévisions par celle de la production en temps réel avec une auto-optimisation. Les systèmes intelligents d'automatisation de la chaîne de production se synchronisent avec l'ensemble de la chaîne de valeur, de la commande de matériel à la livraison des marchandises.(Sanders et al., 2016).

Selon, la norme I.4.0 peut être définie comme "la mise en réseau numérique, intelligente et en temps réel de personnes, d'équipements et de dispositifs dans un environnement numérique", "la gestion des processus d'entreprise et la mise en réseau de la création de valeur". L'objectif est d'aider les personnes et les biens à être toujours connectés les uns aux autres.

Kohler et Weisz (Kohler & Weisz, 2016) décrivent Industrie 4.0 comme une nouvelle approche du contrôle de la production, permettant la synchronisation en temps réel des flux de travail et une production individuelle et personnalisée. Pour le National Office of Institute of Standards and Technology (NIST) (2016), l'Industrie 4.0 est totalement intégrée, collaborative, et qui répond en temps réel aux changements dans l'usine, le réseau de livraison et les besoins des clients.

Wang et al (S. Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016) affirment L'Industrie 4.0 a intérêt à utiliser les technologies de l'information pour mettre au point l'Internet des objets, et les services de ces processus commerciaux et d'ingénierie étant fortement intégrés, la fabrication se déroule de telle sorte qu'elle est souple, efficace et respectueuse de l'environnement, avec une qualité élevée et un faible coût constant. Fasting et al. considèrent l'Industrie 4.0 comme un passage vers la numérisation Industrielle, dans laquelle toutes les activités physiques sont intégrées dans des écosystèmes numériques (Fasting, 2019).

Industrie 4.0 permet une fabrication intelligente qui intègre diverses technologies de fabrication. Elle consiste en la numérisation de tous les composants du système de fabrication par l'interopérabilité, la surveillance et le contrôle en temps réel, la fabrication flexible, adaptation et la réaction rapide aux changements du marché avec une productivité accrue (Phuyal, Bista, & Bista, 2020).

### Synthèse

Les mots clés parmi les différentes définitions sont la "communication ", "flexibilité " et "temps réel", où "les technologies de l'Industrie 4.0 " sont les moyens de mettre en œuvre les principes de communication, de flexibilité et de temps réel.

Dans ce sens, la définition de l'Industrie 4.0 (L'usine de future ou bien I 4.0) est la suivante "la mise en réseau numérique, intelligent et en temps réel de personnes, des équipements et des objets pour la gestion des processus d'entreprise et des réseaux de création de valeur" qui permet une prise de décision distribuée basée sur des données en temps réel en restant connecté.

En effet, L'Industrie 4.0 et ses technologies sont de plus en plus présentées comme essentielles pour améliorer la productivité et la flexibilité, et le temps réel au sein des entreprises, en se concentrant sur la communication instantanée entre les machines et les objets. Il est possible de rendre les systèmes de production plus flexibles pour assurer la satisfaction du client en respectant le triangle de la performance, et d'éviter les 7 Mudras par l'apport de l'aspect de l'intelligence décentralisée dans la production.

### **3.3 Généalogie de l'Industrie 4.0**

Le terme Industrie 4.0 est devenu populaire, avec de nombreuses définitions. Il a été lancé en 2011 en Allemagne sous le nom d'Industrie 4.0 dans le cadre de la stratégie nationale de haute technologie en 2020 afin de contribuer à assurer leur future position de leader dans l'Industrie manufacturière (Kagermann, Helbig, Hellinger, & Wahlster, 2013). Le concept du système mondial a également attiré l'attention du secteur Industriel, dont la vision d'une quatrième révolution Industrielle communément appelée Industrie 4.0, est en train de se concrétiser.

Dans le "Rapport final du groupe de travail Industrie 4.0", l'Industrie 4.0 est un nouveau type d'industrialisation dans lequel des améliorations fondamentales sont apportées aux processus de fabrication : fabrication, ingénierie, utilisation des matériaux, chaîne d'approvisionnement et gestion du cycle de vie (ibid.). De tels changements sont possibles par l'intégration du monde virtuel actuel des ordinateurs avec le monde physique des machines et autres actifs. De tels progrès permettent un degré de contrôle, de flexibilité et d'adaptabilité bien plus élevé qu'auparavant (Kagermann et al., 2013).

- La première révolution Industrielle s'est produite avec le début de la fabrication d'équipements mécaniques, révolutionnant la production de biens à la fin du 18ème siècle via l'utilisation de la puissance de la vapeur.
- Au siècle dernier, la deuxième révolution Industrielle a été pilotée par les chaînes de production, dont Henry Ford, qui fut le premier à officialiser la production de masse

dans le nord-est il y. Elle a eu lieu à la fin du 20e siècle, lorsque l'électricité a introduit la production de masse (Ghobakhloo, 2018).

- La troisième transformation Industrielle a commencé dans les années 1970, avec l'émergence des technologies de l'information (TI). Elle a été mise en œuvre dans l'environnement de fabrication pour améliorer le niveau d'automatisation des processus. À ce stade, les machines de traitement seraient capables d'effectuer certains calculs (Kagermann et al., 2013).
- La quatrième révolution Industrielle est toujours basée sur la numérisation de la troisième révolution Industrielle. L'industrialisation actuelle se caractérise par une intégration croissante des capacités de calcul dans les actifs physiques, créant des usines intelligentes construites sur la base de systèmes cyber physiques (CPS). Cette évolution est illustrée dans la Figure 9.

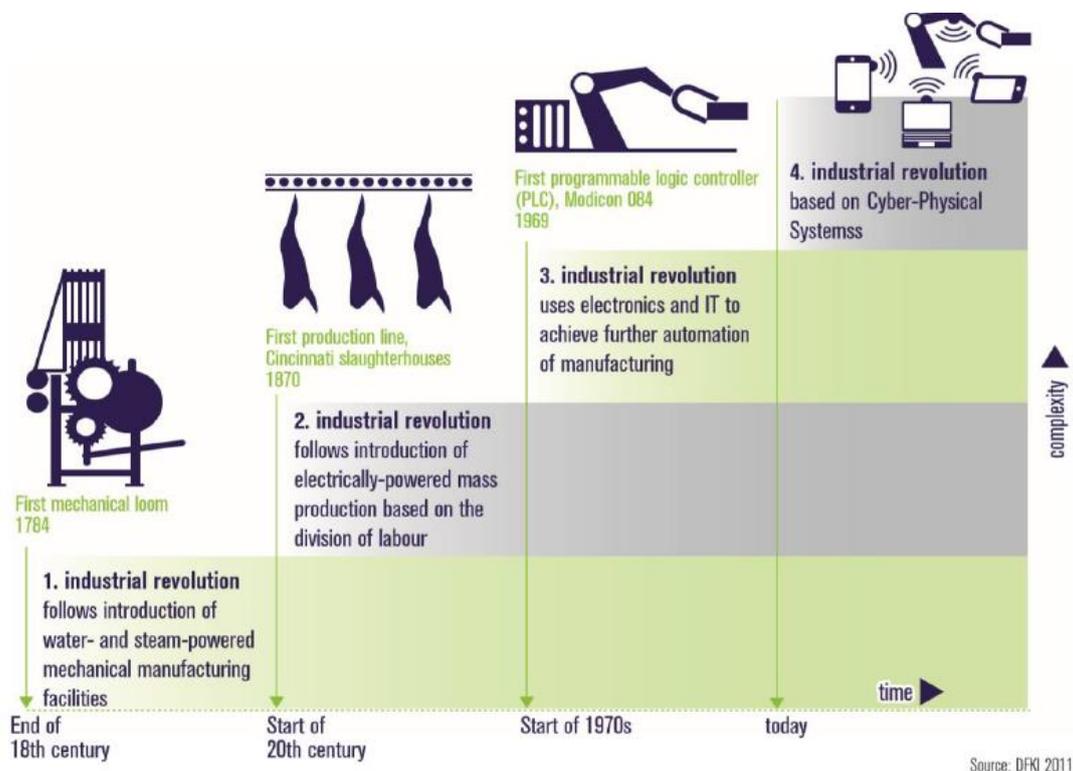


Figure 9: la généalogie de l'Industrie 4.0. Source : DFKI 2011.

### 3.4 La littérature de l'Industrie 4.0

Pour faciliter la compréhension du concept d'Industrie 4.0, les chercheurs ont tendance à décrire ce phénomène sur la base de ses principes de conception sous-jacents et des tendances technologiques (Gilchrist, 2016; Zheng et al., 2018). Ghobakhloo (2018, pp.

911-912) précise que les principes de conception de l'Industrie 4.0 " répondent explicitement au problème du flou de l'Industrie 4.0 en fournissant une systématisation des connaissances et en décrivant les composantes de ce phénomène. Ces principes de conception permettent aux fabricants de prévoir les progrès de l'adaptation de l'Industrie 4.0 et leur donnent les connaissances "comment faire" nécessaires pour développer des procédures et des solutions appropriées à la transition de l'Industrie 4.0. Les tendances technologiques font simplement référence aux innovations technologiques numériques avancées qui permettent collectivement la croissance de la nouvelle technologie Industrielle numérique connue sous le nom d'Industrie 4.0". [Le Tableau 5](#) passe en revue les études précédentes qui ont contribué à la conceptualisation de l'Industrie 4.0, énumère les principes de conception fondamentaux et les tendances technologiques de l'Industrie 4.0 disponibles dans la littérature. [La Figure 10](#) décrit la portée de l'Industrie 4.0 et la fonctionnalité de ses composants. (Ghobakhloo, 2020).

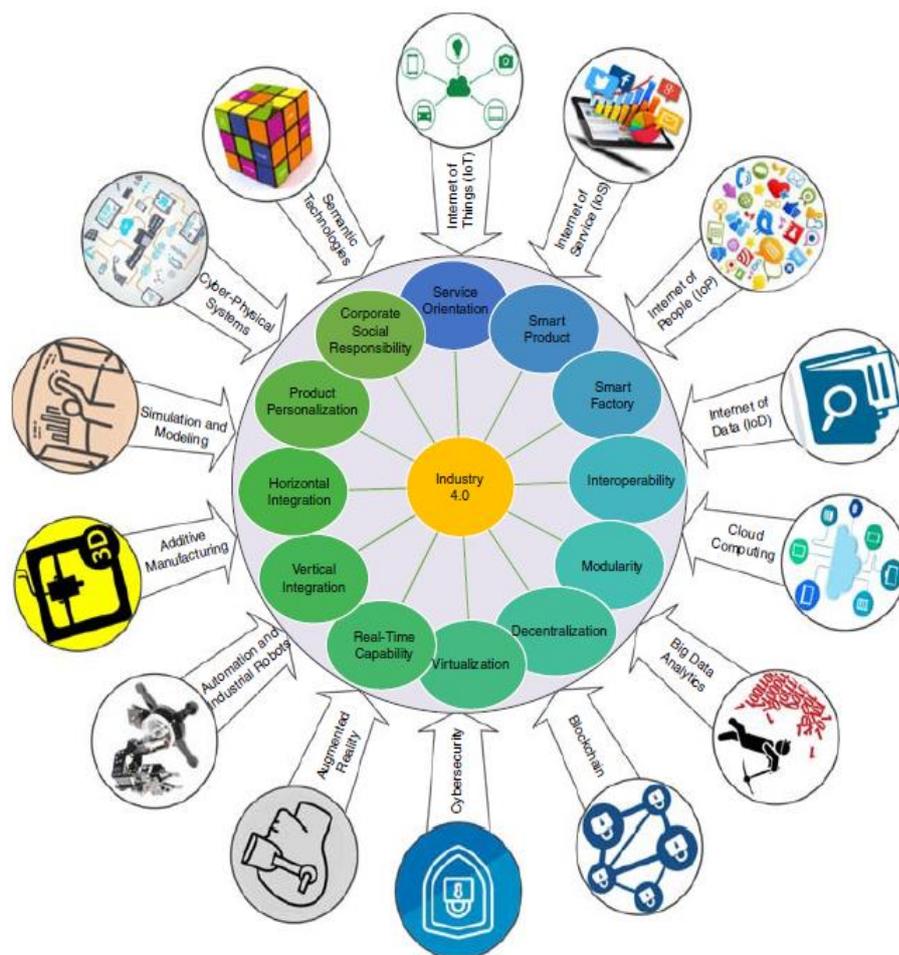


Figure 10: les principes et les technologies de l'Industrie 4.0, source : (Ghobakhloo, 2018)

Tableau 5:la littérature des technologies et les principes de l'4.0. Source:(ghobakhloo,2020)

Authors	Les principes											Les technologies												
	Decentralization	Horizontal Integration	Interoperability	Modularity	Product and	Real-Time Capability	Service	Smart Factory	Smart Product	Vertical Integration	Virtualization	Additive/Advanced	Augmented and virtual	Automation	Big data analytics	Blockchain	Cloud	Cybersecurity	GPS	IIoT	IoS	IoT	Semantic technologies	Simulation
(Ardito, Petruzzelli, Panniello, & Garavelli, 2019)		x								x		x		x		x	x					x		x
(Braccini & Margherita, 2019)											x			x		x						x		
(Fatorachian & Kazemi, 2018)					x									x		x		x				x		
(Ghobakhloo, 2018)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
(Ghobakhloo, 2020)	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x			x
(Gilchrist, 2016)	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x		x
(Hofmann & Rüsçh, 2017)		x				x	x	x							x	x		x			x	x		x
(Junior, Busso, Gobbo, & Carreão, 2018)		x	x	x					x	x				x		x		x				x		
(Kamble, Gunasekaran, & Gawankar, 2018)		x				x				x				x	x	x	x	x				x		x
(Lai, Wong, Halim, Lu, & Kang, 2019)		x	x			x				x				x		x	x	x			x	x		
(Lasi, Fettke, Kemper, Feld, & Hoffmann, 2014)	x	x						x	x	x								x						x
(J. Lee, Bagheri, & Kao, 2015)																		x						
(G. Xu, Li, Chen, & Wei, 2018)	x		x					x						x	x		x		x	x	x	x		
(Liao, Deschamps, Loures, & Ramos, 2017)	x	x							x	x	x			x	x		x					x	x	x
(Lu, 2017)	x	x	x	x		x	x	x	x	x				x	x	x	x				x	x		

(Moeuf et al., 2018)													x	x	x			x	x	x			x		x	
(Eismont et al., 2020)		x								x	x	x	x	x	x									x		x
(Mosterman & Zander, 2016)															x									x		
(Posada et al., 2015)		x				x		x						x	x									x	x	
(Tao & Qi, 2017)											x			x	x	x								x		x
(Roblek, Meško, & Krapež, 2016)		x				x				x	x													x		
(Sikorski, Haughton, & Kraft, 2017)																										
(Strandhagen, Alfnes, Strandhagen, & Vallandingham, 2017)																										
(Strange & Zucchella, 2017)		x																								
(Sung, 2018)																										
(Theorin et al., 2017)																										
(Fettermann, Cavalcante, Almeida, & Tortorella, 2018)																										
(Vogel-Heuser, Bauernhansl, & Ten Hompel, 2017)																										
(S. Wang et al., 2016)																										
(S. Wang et al., 2016)																										
(Ma, Wang, & Zhao, 2017)																										
(Zhang, Ding, Zou, Qin, & Fu, 2019)																										

### 3.5 *Les technologies de l'Industrie 4.0*

L'Industrie 4.0 offre une fabrication intelligente intégrant diverses technologies de fabrication. Le cœur de l'Industrie 4.0 est l'usine intelligente (Kagermann et al., 2013; S. Wang et al., 2016). Les usines intelligentes sont des systèmes de production intégrés horizontalement, en reliant toutes les ressources physiques aux informations contenues dans l'usine intelligente et les autres entreprises. En outre, elles peuvent communiquer et négocier entre elles pour obtenir les produits et les méthodes de production souhaités, ce qui permet une production flexible (S. Wang et al., 2016). En outre, ces systèmes, ressources et informations sont intégrés verticalement à différents niveaux organisationnels, de l'usine à (Kagermann et al., 2013). L'application des systèmes cyber physiques (CPS) est inhérente à l'usine intelligente et à l'Industrie 4.0 (Drath & Horch, 2014).

La fabrication intelligente est donc rendue possible par trois types d'intégration, à savoir l'intégration horizontale, qui fait référence à l'intégration des réseaux de collaboration de valeur, l'intégration verticale qui désigne l'intégration des différentes couches de la pyramide d'automatisation et des départements au sein de l'organisation et l'intégration de bout en bout pour fournir de nouveaux services au client et l'analyse des données provenant de l'utilisation des appareils pour comprendre les besoins du client (Sony, 2018).

I4.0 est une évolution technologique des systèmes embarqués vers les Systèmes Cyber Physiques (CPS). Dans I4.0, la communication de machine à machine (M2M), les technologies IoT et CPS intègrent l'espace virtuel au monde physique. L'IoT permet de développer un nouveau paradigme de production, appelé production personnalisée, qui permet l'implication du client dès la phase de conception du produit (Bortolini, Ferrari, Gamberi, Pilati, & Faccio, 2017). Les progrès et les avancées technologiques de l'I4.0 fourniront un ensemble de solutions viables aux besoins croissants d'informatisation et de numérisation des Industries manufacturières (Cohen, Faccio, Pilati, & Yao, 2019).

La principale caractéristique de l'Industrie 4.0 est la production de CPS. Elle est développée sur la base d'une intégration de données et de connaissances hétérogènes (Lu, 2017; Zanero, 2017). C'est l'objectif principal de l'Industrie 4.0. Comme le concept d'Industrie 4.0 n'est pas défini de manière unique, les technologies connexes ne sont pas identifiées de manière

définitive et spécifique. Dans le document de Rüßmann et al (Rüßmann et al., 2015), du Groupe de conseil de Boston, les auteurs ont identifié neuf technologies principales liées à l'Industrie 4.0, et Ghobakhloo et al, (Ghobakhloo, 2018) ont également identifié les 13 technologies de l'Industrie 4.0 suivants :

- ✚ Robots autonomes (autonomous robots ou Robotics) (Veloso et al., 2012): les fabricants de nombreuses Industries utilisent depuis longtemps des robots pour effectuer des tâches complexes, mais les robots évoluent pour être encore plus utiles. Ils deviennent plus autonomes, plus flexibles et plus coopératifs. Ils pourront éventuellement interagir les uns avec les autres et travailler ensemble en toute sécurité, côte à côte avec les gens et apprendre d'eux. Ces robots coûteront moins cher et auront une plus grande portée que ceux utilisés dans la fabrication actuelle.
- ✚ Simulation (Simulation et expérimentation rapides): sont des outils de modélisation appliqués pour évaluer et prévoir le potentiel et l'autonomie uniques des opérateurs, des machines et des processus (Almada-Lobo, 2015; Bahrin, Othman, Azli, & Talib, 2016; Bloss, 2016; Jones & Pimdee, 2017; Lasi et al., 2014; G. Xu et al., 2018). Les techniques de simulation et de modélisation visent à simplifier et à promouvoir économiquement le développement, la conception, la mise en œuvre, les essais et le fonctionnement en direct des systèmes de fabrication (Kocian, Tutsch, Ozana, & Koziorek, 2012). Dans les usines intelligentes, la simulation sera utilisée pour exploiter les données en temps réel afin de refléter le monde physique dans un modèle virtuel, qui peut inclure des machines et des êtres humains (Rüßmann et al., 2015). La simulation et la modélisation permettent non seulement d'éviter les erreurs des opérateurs de l'usine à un stade précoce, mais elles peuvent être utilisées pour optimiser une usine de fabrication pendant le fonctionnement quotidien continu (Gilchrist, 2016).
- ✚ Intégration horizontale et verticale des systèmes : L'intégration horizontale est un système de modules qui relie les données, les informations sur l'ensemble de la chaîne de valeur. L'intégration verticale consiste à rassembler des informations provenant de tous les niveaux et secteurs de l'organisation et à les partager de manière transparente à tous les niveaux de l'organisation. Elle comprend toutes les activités du système d'exécution manufacturière (MES), et est interconnectée par Wi-Fi, en temps réel, à toutes les étapes du projet dans les processus de l'entreprise en utilisant des données générées par des capteurs qui ont été traduites en informations décisionnelles (Almada-Lobo, 2015;

Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014; Jones & Pimdee, 2017; Liao et al., 2017; Park, 2016).

- ✚ Le nuage (Cloud) : Les entreprises utilisent déjà des outils basés sur le nuage pour certaines analyses et applications commerciales. Cependant, avec l'I 4.0, un nombre plus important d'entreprises liées à la production nécessiteront un partage accru des données entre les sites et les entreprises en raison de l'amélioration des performances des technologies du Cloud (Rüßmann et al., 2015). Le Cloud Industriel est également appelé "fabrication axée sur les services" (Rüßmann et al., 2015). Il s'agit d'un nouveau paradigme d'informatique en réseau qui organise les ressources de fabrication sur les réseaux (nuages de fabrication) en fonction des consommateurs. L'énorme quantité de données (par exemple, les "Big Data") disponibles sur Internet est un facteur majeur du succès de cette dernière, en générant une grande quantité d'informations qui peuvent être utilisées dans un projet de recherche. La fabrication dans le Cloud est une technologie en plein essor qui peut contribuer de manière significative à la réalisation de l'I4.0, cependant ; les objets connectés représentent la matière première pour la production du produit du 21ème siècle. Le "Cloud computing" est une technologie qui offre une application logicielle, des hautes performances à l'Industrie manufacturière et un faible coût permettant l'incorporation de ressources de fabrication distribuées, le développement d'une infrastructure de collaboration et de flexibilité dans les sites de fabrication (He & Xu, 2015). Le Cloud deviendra alors un paradigme de fabrication de nouvelle génération (Ooi, Lee, Tan, Hew, & Hew, 2018).
- ✚ Analyse de données à grande échelle : cela signifie le stockage et la récupération de données non structurées, des données brutes qui sont générées en continu dans différents formats et en grande quantité. L'analyse de données à grande échelle utilise des techniques qualitatives et quantitatives pour donner un sens aux données brutes importantes et les convertir en informations qui sont ensuite utilisées pour prendre des décisions autonomes et guidées dans tous les domaines du développement de produits, des processus de fabrication et d'autres points de décision. Les technologies des données à grande échelle font référence à une nouvelle génération de technologies et d'architectures qui permettent aux organisations de saisir la valeur économique. ~~Déjà~~, l'analyse de grandes quantités de données permet aux organisations contemporaines de mieux exploiter les quantités massives d'informations qu'elles ont à offrir, et d'identifier ce qui est susceptible de se produire ensuite et les actions qui doivent être

prises afin d'obtenir les meilleurs résultats (LaValle, Lesser, Shockley, Hopkins, & Kruschwitz, 2011). Le concept de grandes données existe depuis de nombreuses années. Cependant, l'analyse des données importantes pour identifier instantanément les tendances futures sert à prendre des décisions immédiates et le maintien de la compétitivité (Hu, Wen, Chua, & Li, 2014). En particulier, l'analyse des grandes données permettrait aux fabricants d'améliorer l'efficacité et la performance de leurs actifs, de mieux personnaliser leurs produits, de mieux gérer le maintien et la prévention des défaillances des actifs, de rationaliser plus efficacement les processus de production et l'initiative de gestion de la chaîne d'approvisionnement (Babiceanu & Seker, 2016). Le département de fabrication cognitive d'IBM est un exemple d'application Industrielle de l'analyse de grandes données (Zikopoulos & Eaton, 2011).

- ✚ La cybersécurité : est un élément clé de l'Industrie 4.0, car toutes les organisations liées à Internet sont exposées au risque de transmission. Il est certain que l'Industrie 4.0 sera confrontée aux problèmes traditionnels de cybersécurité, qui constituent l'une de ses préoccupations spécifiques en matière de sécurité et de respect de la vie privée (Thames & Schaefer, 2017). Dans l'environnement de l'Industrie 4.0, les "choses" sont liées à la sécurité, la sûreté et la fiabilité, pour garantir que les décisions et les actions prises soient basées sur une communication saine et transparente (Mehnen, He, Tedeschi, & Tapoglou, 2017; W. Wang & Lu, 2013). Elle est également utilisée pour assurer la sécurité des opérations dans les réseaux et les systèmes ouverts. En outre, elle constitue un défi pour les besoins des opérations de l'Industrie numérique (Bahrin et al., 2016; de Sousa Jabbour, Jabbour, Foropon, & Godinho Filho, 2018; Sanders, Subramanian, Redlich, & Wulfsberg, 2017).
- ✚ Internet des objets (l'Internet of Things) : l'IoT établit des liens entre les objets et les humains en utilisant les technologies de l'internet. L'IoT Industriel permet la mise en réseau des machines, des opérations de fabrication, des cadres, des ingénieurs, des ouvriers d'usine, des fournisseurs, des produits et des clients. La communication en temps réel, s'impose comme une exigence fondamentale entre toutes les entités mises en réseau (Almada-Lobo, 2015; Bahrin et al., 2016; Lu, 2017; Park, 2016; Weber & Weber, 2010).
- ✚ Le Cyber Physique Système (CPS) : est un ensemble de technologies de transformation qui permet de connecter les opérations des actifs physiques et des capacités de calcul (J. Lee et al., 2015). Le CPS est contrôlé et surveillé par des algorithmes informatiques, et est étroitement intégré avec ses les utilisateurs (objets, humains et machines) via internet.

Gilchrist (2016) explique que dans la mesure où le CPS est capable d'intégrer l'informatique, la mise en réseau est un opérateur humain dans une chaîne de production qui devient un CPS et donc une usine intelligente. Par ailleurs, une ligne de production intelligente peut être considérée comme un CPS dans lequel les machines, les opérateurs, les matériaux et même les travaux en cours peuvent communiquer entre eux et surveiller davantage les informations de production ou les transmettre à un autre nœud en réseau où seront effectués des calculs, des analyses et des prises de décision et où un retour d'information sera fourni si nécessaire.(Ghobakhloo, 2018)

- ✚ La fabrication additive (impression 3D ou 3D Printing) : l'impression 3D est utilisée pour le prototypage et la production rapide de composants. L'accent est mis sur la conception en 3D pour produire des composants avec un minimum de transport, de stockage et d'autres formes définies de production de déchets. (Bahrin et al., 2016), (Almada-Lobo, 2015).
- ✚ La Réalité augmentée (Augmented Reality) : la réalité augmentée (AR) a été identifiée comme une technologie très prospective qui permet de visualiser des images générées par ordinateur et placées dans un environnement réel (Yew, Ong, & Nee, 2016). Elle est développée et améliorée par l'interprétation informatisée de documents qui requièrent des informations. La réalité augmentée est déjà possible grâce à des perceptions sensorielles, notamment auditives, visuelles, tactiles, olfactives, de pression et de chaud/froid. Les applications possibles sont innombrables, notamment la co-création de clients, la maintenance prédictive, la maintenance à distance, le libre-service guidé virtuellement, la surveillance et le contrôle à distance.(Almada-Lobo, 2015; Bloss, 2016; Van Krevelen & Poelman, 2010).
- ✚ L'Internet des services (IoS) est l'utilisation systématique de l'Internet pour les nouveaux moyens de création de valeur par la matérialisation du modèle d'activité produit-services. Il a été rendu possible grâce à l'infrastructure IoS comme les produits basés sur des capteurs qui fournissent en permanence des informations sur l'utilisation et l'état du produit au fabricant, qui peut ensuite évaluer les informations pour une diversité d'objectifs, allant de la facturation au client basée sur le niveau d'utilisation du produit à la maintenance proactive et préventive (Leminen, Westerlund, Rajahonka, & Siuruainen, 2012). Aujourd'hui, les fabricants de produits de consommation s'efforcent d'établir un lien direct avec les consommateurs et d'améliorer leur position concurrentielle en offrant des services et en cultivant des sources de revenus supplémentaires (T. Becker et al.,

2014), et l'article de fourniture fournit la technologie d'infrastructure nécessaire (Ghobakhloo, 2018).

- ✚ Internet des personnes (IoP) est un système socio-technique complexe dans lequel les humains et leurs appareils personnels ne sont pas considérés comme de simples utilisateurs finaux d'applications, ils deviennent des éléments actifs de l'Internet (Conti, Passarella, & Das, 2017). L'infrastructure nécessaire à l'IoP est formée autour de la combinaison de dispositifs sociaux (SD) et de personnes en tant que service. Dans cet environnement, les SD améliorent les appareils personnels des humains (par exemple les smartphones) de manière proactive afin de coordonner leurs interactions avec d'autres appareils liés à l'IoP, propose des appareils personnels dotés de capacités de service qui permettent aux individus de réaliser leurs intentions par l'intermédiaire de leurs appareils, comme par exemple en fournissant leur contexte en ligne (Miranda et al., 2015). Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, des personnes souhaitent mettre leur vie en ligne et faire une communication virtuelle publique sur ce qui les intéresse. Grâce à la collecte de données et à la simulation dans l'environnement IoP, les entreprises seront en mesure de mieux prévoir les tendances futures du marché grâce à une meilleure compréhension des achats des consommateurs et de ce qui déclenche un achat, et de produire des résultats exploitables en temps réel. (Ghobakhloo, 2018).
- ✚ Internet des données (IoD) peut être considéré comme l'expansion de l'IoD dans le nouveau monde numérique. (Fan, Chen, Xiong, & Chen, 2012), qui n'a été porté à l'attention des chercheurs que récemment. L'IoD concernera principalement les moyens de transfert, de stockage, de gestion et dans l'environnement IoD, (Anderl, 2014). L'IoD permettra aux organisations de bénéficier du suivi des données, de l'identification des données, et de la vitalisation et de la collecte d'informations commerciales plus précieuses grâce à l'analyse de grands ensembles de données. En outre, l'IoD peut être considérée comme l'équivalent conceptuel de la gestion de base de données qui peut servir de base pour l'IoD, l'IoS et l'IoP (Anderl, Anokhin, & Arndt, 2018).
- ✚ La chaîne de blocs, également connue sous le nom de "Distributed Ledger Technology", est à la base des cryptocurrencies comme Bitcoin et Ethereum, mais ses capacités ne se limitent pas à cela. La chaîne de blocs est immuable, transparente et redéfinit la confiance (Underwood, 2016).
- ✚ La recherche scientifique estime que la technologie des chaînes de production est essentielle pour l'Industrie 4.0, car la cryptomonnaie permet à d'innombrables dispositifs

intelligents de fonctionner de manière transparente, sécurisée, rapide et efficace. Des transactions financières sans friction et totalement autonomes sans aucune intervention humaine dans l'environnement de l'IoT (Devezas & Sarygulov, 2017). L'application de l'IoT n'est pas limitée aux services financiers et peut être utilisée pour tout type d'activité numérique et de transfert d'informations. Le développement d'Industrie 4.0 est basé sur l'automatisation, et peut fonctionner comme le grand livre pour développer une relation de confiance et d'autonomie entre les éléments des usines intelligentes, les fournisseurs et même les clients.

Chacune de ces technologies proposées dans le cadre du concept d'Industrie 4.0 a amélioré plusieurs aspects de la production, notamment la planification opérationnelle, la maintenance des équipements et la gestion des stocks. D'autres auteurs utilisent une majorité des technologies proposées par Rüßmann et al (Rüßmann et al., 2015). Ces technologies sont décrites dans la (Figure 10).

Moeuf et al. (Moeuf et al., 2018) et beaudouin et al. (Beaudoin et al., 2016) ont supprimé la fabrication additive et ajouté les systèmes cyber physiques. En outre, ils ont modifié les termes "intégration horizontale et verticale des systèmes" pour la communication de machine à machine (M2M) et les "robots autonomes" en "robots collaboratifs". D'autres auteurs présentent différentes listes de technologies, notamment (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017; Mayr et al., 2018; Sanders et al., 2016; Wagner et al., 2017).

### **3.6 Les Principes de l'Industrie 4.0**

L'Industrie 4.0 étant une priorité absolue pour de nombreux chercheurs, universités et entreprises depuis quelques années. Les contributions des universitaires et des praticiens n'ont pas pu rendre le terme concret ; elles le rendraient plutôt flou. Même les principaux promoteurs du concept ont seulement décrit la vision, les technologies fondamentales pour atteindre l'objectif, mais n'ont pas pu en donner une définition claire. Hermann et al, (Hermann, Pentek, & Otto, 2016) affirment que la recherche scientifique est entravée si des définitions claires font défaut, car toute étude théorique nécessite un fondement conceptuel solide ainsi qu'une base terminologique. Les principes de conception abordent spécifiquement la question en offrant une systématisation des connaissances et en décrivant les composantes d'un phénomène. Les auteurs ont pu développer six principes de conception

que les entreprises devraient prendre en compte lors de la mise en œuvre des solutions de l'Industrie 4.0.

Cette étude suit cette catégorisation et les premières tentatives pour expliquer et définir l'Industrie 4.0 en termes de ses principes de conception et de ses tendances technologiques. Les principes de conception d'Industrie 4.0 abordent explicitement la question de l'imprécision dans l'Industrie 4.0 en systématisant la connaissance et en décrivant les composantes de ce phénomène (Hermann et al., 2016). En outre, ils permettent aux fabricants de planifier les progrès de l'adaptation de l'Industrie 4.0, et leur donnent le "comment faire" dans l'élaboration des procédures et des solutions appropriées requises pour le passage à l'Industrie 4.0.

Hermann et al. (Hermann et al., 2016) identifient six principes de conception, dérivant des technologies de l'Industrie 4.0, qui aident les entreprises à identifier des projets pilotes possibles :

1. Interopérabilité,
2. Virtualisation,
3. Décentralisation,
4. Capacité en temps réel,
5. Orientation service et (vi) modularité.

Malgré une prise de conscience croissante, de nombreuses entreprises sont encore confrontées à l'idée générale d'Industrie 4.0 et aux principes et concepts spécifiques qui lui sont associés (Sanders et al., 2016).

En outre, l'étude de Morteza Ghobakhloo consiste en une revue systématique axée sur le contenu de la littérature pour identifier les principes de conception clés qui constituent les éléments de base de l'Industrie 4.0 et d'explorer leurs avantages techniques et économiques potentiels pour la production afin d'introduire des défis contemporains auxquels les fabricants peuvent être confrontés dans la transition vers l'Industrie 4.0 (Ghobakhloo, 2018) (Figure 10) :

- L'orientation des services (Service Orientation) : CPPS offrant des services via Internet basés sur une architecture de référence orientée aux services. Dans le contexte de l'orientation des services de l'Industrie, la version 4.0 se réfère principalement aux

concepts de Manufacturing as a Service (MaaS) et Product as a Service (PaaS). Dans le modèle commercial du PaaS, les produits sont fournis sous forme de service ou d'expérience virtuelle avec un seul paiement initial, les clients s'abonnent au produit et paient une redevance récurrente sur une base perpétuelle par résultat. Ce modèle commercial est rendu possible notamment par l'élément de technologies d'approvisionnement qui peuvent être intégrées dans les produits (par exemple, biens, logiciels et infrastructures) pour surveiller quand et comment ils sont utilisés. Le modèle commercial MaaS fait référence à l'utilisation globale d'une infrastructure de fabrication en réseau pour produire des biens. L'interconnectivité entre les fabricants et l'utilisation généralisée de l'IdO et du cloud computing ont créé de nouveaux écosystèmes manufacturiers en permettant aux entreprises de communiquer automatiquement leurs besoins et leurs capacités de fabrication (Tao & Qi, 2017).

- Bien que le terme "produit intelligent" (smart product) soit largement utilisé, il n'existe pas de définition commune de ce concept, mais la littérature en donne quelques définitions différentes. Le produit intelligent est une nouvelle génération de produits physiques qui, grâce aux différents types de capteurs qui y sont intégrés, peuvent se connecter à l'environnement, collecter, stocker et transférer des données au cours de leur cycle de vie (Schmidt et al., 2015). Cela signifie qu'au stade de la fabrication, les produits intelligents peuvent communiquer des informations précieuses sur le lieu de fabrication, l'état actuel des produits et les étapes nécessaires pour qu'ils atteignent l'état souhaité. Mühlhäuser définit un produit intelligent ainsi : "*Un produit intelligent est une entité (objet tangible, logiciel ou service) conçue et fabriquée pour une utilisation auto-organisée et une intégration dans différents environnements (intelligents) au cours de son cycle de vie, offrant une simplicité et une ouverture accrues grâce à une interaction p2u et p2p améliorée par la prise en compte du contexte, l'autodescription sémantique, un comportement proactif, des interfaces multimodales naturelles, la planification et l'apprentissage machine*" (Mysen, 2013).
- Une usine intelligente (smart factory) : est un environnement de fabrication hautement productif composé de machines et de matériaux intelligents pour minimiser les déchets, les défauts et les temps d'arrêt" (Ghobakhloo, 2018). Dans l'environnement actuel, l'efficacité des processus est optimisée par l'utilisation de machines et l'automatisation et l'auto-optimisation des équipements. L'usine intelligente est en fait un système de fabrication cyber-physique-humain intégré et dynamique dans lequel

les ressources physiques sont mises en œuvre sous forme de choses intelligentes qui communiquent entre elles et avec les ressources humaines via les infrastructures de IIoT and IoP and WoT (S. Wang et al., 2016).

- La décentralisation permet aux différentes composantes de la centrale intelligente de fonctionner de manière indépendante et de prendre des décisions de manière autonome, de sorte qu'elles restent alignées sur la voie d'un objectif organisationnel final commun. Les entreprises bénéficient d'une décentralisation accrue grâce à une planification simplifiée et à la coordination des différents processus. Par exemple, l'intégration de Kanban avec la Smart réduit considérablement la complexité de la planification au niveau central en offrant une liberté de décision en matière de fabrication (Ghobakhloo, 2018).
- L'interopérabilité peut être définie simplement comme la capacité des systèmes à effectuer des transactions avec d'autres systèmes. Dans le contexte de l'Industrie 4.0, l'interopérabilité est la capacité de tous les composants tels que les ressources humaines, les produits intelligents, les usines intelligentes et toute technologie pertinente à communiquer, à se connecter et à fonctionner ensemble via l'IoT, l'article de ravitaillement, l'article de paiement et le logiciel de gestion des stocks (Ghobakhloo, 2018). Une discussion plus détaillée révèle que l'interopérabilité dans l'Industrie 4.0 peut être définie en quatre niveaux d'interopérabilité opérationnelle, sémantique, systématique et technique (Lu, 2017).
- La modularité comprend tous les niveaux de production et de fabrication (Ghobakhloo, 2018), et repose sur une chaîne d'approvisionnement agile et des systèmes de flux de matériaux flexibles, des processus de prise de décision souples et modulaires (Perales, Valero, & García, 2018). La personnalisation des produits est en fait une implication plus orientée vers le client de la personnalisation de masse (Merigó & Yang, 2017).
- La virtualisation permet de représenter un "jumeau numérique" de toute la chaîne de valeur (entrepôt intelligent, usine intelligente, toutes les machines et équipements connexes, et même les produits intelligents) par la fusion de données de capteurs acquises dans le monde physique dans des modèles virtuels ou basés sur la simulation (Moreno et al., 2017).
- Intégration des systèmes désigne le processus consistant à rassembler les sous-systèmes qui composent les systèmes dans un système commun afin que ce dernier puisse fournir la fonctionnalité souhaitée. L'évolution vers l'Industrie 4.0 nécessite

l'intégration verticale de couches successives de technologies et de systèmes, dont certains sont vieux de plusieurs décennies (Posada et al., 2015).

- La responsabilité sociale des entreprises est une forme d'autorégulation des entreprises qui s'intègre dans le modèle commercial existant. Dans l'environnement manufacturier, la responsabilité sociale des entreprises concerne principalement des domaines tels que la réglementation en matière d'environnement et de travail (Ghobakhloo, 2018). Du point de vue de la durabilité environnementale, l'Industrie 4.0 offre d'énormes possibilités de mise en œuvre d'une fabrication durable, car elle permet une coordination efficace des matériaux et de l'énergie tout au long du cycle de vie des produits; une conception durable des produits; une conception durable des processus et une matérialisation de l'efficacité des ressources; une efficacité accrue des employés grâce au déploiement du modèle d'entreprise "green-Lean agile" et de l'infrastructure IoT (Stock & Seliger, 2016).
- Le temps réel : La production et la collecte de données n'ont aucun sens si elles ne sont pas analysées en temps réel. Une usine intelligente devrait être capable de collecter des données en temps réel, de les stocker ou de les analyser, et de prendre des décisions en fonction des résultats. Pour être considérés comme intelligents, les dispositifs et les systèmes de l'ensemble de l'usine de production doivent connaître le scénario en temps réel. Les produits intelligents doivent pouvoir naviguer (vérifier la disponibilité de la station ou faire un itinéraire alternatif) à travers l'usine de production en communiquant avec les postes de travail où elle doit se trouver et doivent transmettre les exigences de ce produit. La capacité en temps réel rendue possible par l'interopérabilité, la virtualisation agit comme un carburant pour la prise de décision en temps réel, basée sur des données, par des machines ou des humains (Niya, Schiller, Cepilov, & Stiller, 2020).

### ***3.7 Les facilitateurs et les obstacles au déploiement de L'Industrie 4.0***

Dans cette section, il s'agit d'analyser les facilitateurs et les obstacles du déploiement l'Industrie 4.0 afin de recueillir les aspects clés pour aider à développer la proposition d'un modèle de maturité du Lean 4.0 dans le cadre des objectifs de la thèse.

l'Industrie 4.0 est comme le Lean management, elle dépend des dimensions suivantes : stratégie, leadership , clients , culture ,et gouvernance organisationnelle et technologies qui varient d'une organisations à une autre (Simoni & Cecconello, 2020).

Comprendre les obstacles et les facilitateurs de la mise en œuvre de l'I4.0 est crucial pour réussir. Ces obstacles et ces facteurs limitent ou soutiennent l'I4.0 qui doit devenir une solide méthode d'amélioration des processus dans toute l'organisation. D'où ces obstacles et ces facteurs ont été classés en neuf dimensions organisationnelles tirés de l'analyse de la revue de la littérature ([Tableau 6](#)).

Tableau 6: Les obstacles et les facilitateurs de L'Industrie 4.0 Source : auteurs.

<i>Dimensions :</i>	<i>Obstacles :</i>	<i>Facilitateurs :</i>	<i>Sources :</i>
1. Stratégie	-Absence de stratégie -Pénurie de ressources financières. -Standardisation des problèmes	-Amélioration de l'automatisation des Individus ou même le processus toute entreprise. - Prise de décisions distribuées de systèmes. -Opportunité pour l'innovation des modèles d'entreprise.	- (de Sousa Jabbour et al., 2018; Kiel, Arnold, & Voigt, 2017; Lins & Oliveira, 2017; Nagy, 2019; Paritala, Manchikatla, & Yarlagadda, 2017; Szalavetz, 2019)(Horváth & Szabó, 2019)
2. Leadership	- Manque de la compréhension du management. -Difficulté de coordination entre les unités organisationnelles.	-Pressions concurrentielles pour le changement. - Equilibre entre la phase tactique, stratégique, et opérationnelle et les KPI financiers, utilisés pour anticiper l'avenir. - Un leadership solide et numérique. -Des efforts pour économiser l'énergie et améliorer la durabilité. -Soutien aux activités de gestion.	(Bauer, Hämmerle, Schlund, & Vocke, 2015; Horváth & Szabó, 2019; Lasi et al., 2014)
3. Clients	-Demande incertaine. -Faible performance des fournisseurs et des clients.	- Correspondre la demande et les capacités de l'entreprise. -Attentes des clients -Satisfaction de client.	(Adolph, Tisch, & Metternich, 2014; Horváth & Szabó, 2019; Karre, Hammer, Kleindienst, & Ramsauer, 2017; Lafontaine, 1998; Nagy, 2019; Spath et al., 2013)
4. Production	-Manque de soutien externe de la part du gouvernement, des fournisseurs, les clients et les consultants externes. -Risque de fragilité.	- Utilisation des KPI pour l'apprentissage machine. -Réduction des 7 Mudass. -Accroissement de la capacité d'innovation et de la productivité	(Bauer et al., 2015; Horváth & Szabó, 2019; Lasi et al., 2014; Paritala et al., 2017)

<i>Dimensions :</i>	<i>Obstacles :</i>	<i>Facilitateurs :</i>	<i>Sources :</i>
5. Opérations	- Trop de priorités - Manque d'expertise -les préoccupations en matière de sécurité.	- Réorganisation des modèles de l'une entreprise existante.	(Geissbauer, Vedso, & Schrauf, 2016; Horváth & Szabó, 2019; Kane, Palmer, Phillips, Kiron, & Buckley, 2018).
6. Culture	-l'insuffisance de la compétence du personnel.	-Changement de la culture de l'entreprise. -Une concurrence croissante.	(Horváth & Szabó, 2019).
7. Ressource humaine (employés)	-le manque des ressources qui maîtrisent les technologies de l'I4.0. - résistance au changement. -Ressources humaines et conditions de travail.	- Une main-d'œuvre d'âges différents. -Formation des employés. - Renforcement des compétences, des talents et les capacités pour mettre en œuvre la stratégie.	(Adolph et al., 2014), (Bauer et al., 2015)(Karre et al., 2017)(Kiel et al., 2017)(Metternich, Müller, Meudt, & Schaede, 2017)(Horváth & Szabó, 2019),
8.Gouvernance:	-le manque d'engagement pour la mise en œuvre de l'Industrie 4.0. -résistance aux changements. -la culture et la structure organisationnelles. -Problèmes de normalisation.	-Développement des systèmes d'incitation partagés pour tous les partenaires impliqués. - Décentralisation de la prise de décision. -Facteurs financiers et de performance.	(Cimini, Pinto, Pezzotta, & Gaiardelli, 2017; Horváth & Szabó, 2019; Intezari & Gressel, 2017; Kagermann, 2015; Metternich et al., 2017; Shahin, Chen, Bouzary, & Krishnaiyer, 2020; Szalavetz, 2019)
9.Technologies	-le manque d'expérience. -les technologies de l'Industrie 4.0. -Préoccupations de la cybersécurité	- Bonne technologie -	(Cimini et al., 2017; Horváth & Szabó, 2019; Kiel et al., 2017)

## Synthèse

Cette analyse des obstacles et des facilitateurs présentés dans le [Tableau 6](#) constitue une synthèse élaborée (basée sur plus que 20 autres articles) et qu'elle souligne l'importance d'amorcer la transformation à partir du paradigme de l'Industrie 4.0 et de préparer la mise en œuvre (facilitateurs de L'Industrie 4.0). Cette synthèse illustre l'importance de l'Industrie 4.0 pour assurer l'amélioration continue des organisations et répondre aux exigences des clients et ce en relation avec les neuf dimensions organisationnelles de la maturité mentionnées par Schumacher et al. (Schumacher et al., 2016).

Par ailleurs, ces obstacles empêchent le processus de rationalisation de l'organisation. D'autre part, les facilitateurs agissent en soutenant la mise en œuvre et en pérennisant le processus sur le long terme, comme une culture organisationnelle forte, l'engagement et la compréhension du management ainsi qu'une communication efficace (Leite et al., 2016).

### **3.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, les éléments théoriques essentiels au fonctionnement d'Industrie 4.0 ont été identifiés. L'I4.0 est : « *la mise en réseau numérique, intelligente des personnes, des équipements et des objets pour la gestion des processus d'entreprise et des réseaux de création de valeur en temps réel* », qui permet une prise de décision distribuée basée sur des données en temps réel en restant connecté. En outre, les technologies et les principes de l'Industrie 4.0 ont été aussi présentés.

Les obstacles et les facilitateurs du déploiement d'Industrie 4.0 au sein des organisations de construction ont également été étudiés. L'objectif de cette analyse était de recueillir les suggestions qui seront présentées dans le chapitre IV pour aider à développer une nouvelle méthodologie proposée pour la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 au sein des organisations de construction en relation avec les neuf dimensions de L'Industrie 4.0 citées dans la revue de la littérature.

## CHAPITRE IV : LEAN 4.0

### **4.1 Introduction**

L'application de la méthode LM peut considérablement améliorer les performances d'une entreprise en se concentrant sur les activités à valeur ajoutée. En outre, I4.0 est considéré comme une autre tendance prometteuse dans l'Industrie. La combinaison de ces développements a donné naissance à des termes tels que "le Lean 4.0". Toutefois la littérature existante ne présente pas une conjonction complète et détaillée des deux paradigmes (Mayr et al., 2018). La présente thèse s'appuie sur cette lacune en matière de recherche dans un double but : premièrement, l'objectif est de s'appuyer sur les travaux existants pour conclure si le Lean et l'Industrie 4.0 peuvent se compléter. Deuxièmement, ce travail examine comment l'Industrie 4.0 peut soutenir des outils du Lean management. Ceci est illustré par un premier aperçu des travaux de base pertinents et propose de lier LM et I4.0 d'une manière conceptuelle. La littérature existante est ainsi classée en trois volets de recherche : 1) les travaux préliminaires liés à l'intégration des outils du Lean avec les technologies de l'Industrie 4.0, 2) La synergie des outils du Lean et des technologies de l'Industrie 4.0 pour éliminer les sept types du Mudas, 3) les limites de la corrélation (la synergie) dans la revue de la littérature. Ensuite, nous faisons une bibliométrie du Lean 4.0 sur la base de données Web of Science, ainsi que la synergie entre les technologies de l'I4.0 et les outils du Lean en se basant sur 47 références, chose qui n'a jamais été traité auparavant par les auteurs du domaine. Enfin la dernière section une conclusion pour clôturer le chapitre.

### **4.2 L'élimination des 7 Mudas à travers les outils du LM et les technologies de l'I4.0**

Cette section vise à déterminer comment les outils existants du Lean et de l'Industrie 4.0 peuvent être mis en corrélation pour éliminer le gaspillage (7 Mudas). Les [Tableaux 7](#) et [8](#) résument les outils et technologies Lean et l'Industrie 4.0 publiés et utilisés pour éliminer les 7 Mudas. Ils peuvent être considérés comme un premier pas vers l'identification de synergies concrètes entre les outils Lean et les technologies de l'Industrie 4.0 pour éliminer et minimiser les déchets. La philosophie Lean se concentre sur l'élimination de toutes les activités connues sous le nom de déchets (ou dans le muda japonais), ou d'activités sans valeur ajoutée. Cette valeur est définie du point de vue du client final et est spécifique

au produit. Elle vise à éliminer la valeur qui consomme du temps et des ressources, mais n'ajoute pas de valeur à l'achèvement physique des produits (Chahal & Narwal, 2017). En outre, il existe toute une série de pratiques de gestion des déchets qui peuvent être utilisées pour l'élimination des déchets. [Le Tableau 7](#) présente le cadre et résume les outils de Lean Management pour éliminer les 7 mudas mentionnés dans (Satoglu, Ustundag, Cevikcan, & Durmusoglu, 2018a; Ustundag & Cevikcan, 2017; Verrier, Rose, & Caillaud, 2016).

Tableau 7:Les outils du Lean pour éliminer les 7 types du gaspillage (Mudas). Source : auteurs.

<i>Les 7 Mudass</i>	<i>Les outils du Lean management</i>
Surproduction	<i>JIT,SMED,KANBAN, cellular manufacturing, setup reduction, wip reduction, supplier development (JIT, SMED, KANBAN, fabrication de cellules, réduction de la configuration, réduction de la fréquence de balayage, développement des fournisseurs)</i>
Attente	<i>CELLULAR MANUFACTURING , 5S , JIT,SMED,TPM,setup production,production smoothing,kanban, supplier development, jidoka, cim FABRICATION CELLULAIRE , 5S , JIT,SMED,TPM,production de montage, lissage de la production, kanban, développement des fournisseurs, jidoka.</i>
Surstockage ou stock inutile	<i>5S,JIT,KANBAN,SMED,TPM,supplier development, quality control, production smoothing, wip reduction.(5S,JIT,KANBAN,SMED,TPM,développement des fournisseurs, contrôle qualité, lissage de la production.</i>
Transport	<i>Lean thinking,5s, cellular manufacturing, (Lean thinking,5s, fabrication de cellulaires)</i>
Surproduction ou traitement inutile	<i>JIT,5S, POKA YOKE, TPM, setup reduction, cim (JIT,5S, POKA YOKE, TPM, réduction de l'installation, cim)</i>
Mouvement inutile	<i>5S ,VSM,JIT, cellular manufacturing,,jidoka, cim</i>

*Les 7 Mudas*

*Les outils du Lean management*

Défaut

*TQM, Cellular manufacturing, ANDON, POKAYOKE, TPM, JIT, kaizen, tpm, setup reduction, quality control, supplier development, jidoka, cim* (TQM, fabrication de cellulaires, ANDON, POKAYOKE, TPM, JIT, kaizen, tpm, réduction de la configuration, contrôle de la qualité, développement des fournisseurs, jidoka, cim )

De plus, il existe une variété de technologies avancées de l'Industrie 4.0 qui peuvent être utilisées pour l'élimination des déchets dans les systèmes de fabrication. Le tableau 2 résume les technologies les plus basiques impliquées et les types de 7 Mudras que ces types de technologies aident à minimiser l'élimination des déchets, mentionnés dans (Satoglu, Ustundag, Cevikcan, & Durmusoglu, 2018a; Verrier et al., 2016).

Tableau 8: Les 7 MUDAS soutenus par l'I4.0. Source : auteurs.

<i>Les 7 Mudras</i>	<i>Les technologies de l'4.0</i>
Surproduction	<i>3d printing, IOT, Data analysis,</i>
Attente	<i>3D Printing, Simulation Virtualization ,Adaptative robotics, IOT, Data Analysis, Cloud Computing</i>
Surstockage ou stock inutile	<i>3D Printing, IOT, Data Analysis, Cloud.</i>
Transport	<i>3D PRINTING, augmented reality, simulation virtualization, data analysis, cloud computing</i>
Surproduction ou traitement inutile	<i>3D Printing, Simulation Virtualization, adaptive robotics, cloud computing</i>
Mouvement inutile	<i>Augmented reality, adaptive robotics, cloud computing</i>
Défaut	<i>3d printing, augmented reality , simulation and virtualization, adaptive robotics, iot, data anaysis</i>

### 4.3 Flux systématique de la recherche du Lean 4.0 (SSF) à travers une analyse bibliométrique

La méthode du Systematic Search Flow (SSF) a été utilisée en raison de sa fiabilité et de sa cohérence (Ferenhof & Fernandes, 2016). La méthode d'étude a été divisée en quatre phases, comme le montre le (Tableau 9).

Tableau 9: Protocole de la recherche. Source : Auteurs.

Phase	Protocole de la recherche	Analyse	Synthèse	Rédaction
Activités	La stratégie de la recherche.			
	Recherche dans la base de données.			
	Gestion des documents.	Consolidation des données	Synthèse des informations	Rédaction
	Normalisation de la sélection des documents ;			
	Composition du portefeuille			

#### 4.3.1 Phase 1 : Protocole de la recherche

La première phase de la méthodologie SSF a été conçue pour clarifier le contenu du protocole de recherche, et a été organisée en cinq activités : stratégie de recherche; interrogation de la base de données; gestion des documents; normalisation et la composition du portefeuille comme suit :

##### ❖ Stratégie de recherche.

L'objectif de cette activité est d'identifier des thèmes de recherche, qui ont conduit à la recherche avec des mots clés durant la période 2011-2020. Compte tenu de l'objectif de notre étude, deux mots clés ont été identifiés : "Industry 4.0" et "Lean". Pour ces mots clés, une commande de recherche a été définie par la combinaison de mots clés et d'opérateurs logiques/relationnels.

Les recherches ont été effectuées le 4 juin 2020 à l'aide de la requête suivante : Outils de gestion Lean ; Lean Management et Industry 4.0 ; Lean 4.0 ; Outils et technologies Lean

Industry 4.0 ; Synergie entre les outils Lean et Industry 4.0 ; Synergie entre les outils Lean et les technologies Industry 4.0 ; Corrélation entre l'Industrie et les pratiques Lean dans les organisations ; Impact des technologies Industry 4.0 sur les pratiques Lean. La raison principale de la sélection de cette période (2011-2020) est que la notion d'Industrie 4.0" a été adoptée pour la première fois en 2011.

#### ❖ Recherche dans la base de données

Deux bases de données ont été sélectionnées : Google Scholar et Web Of Science. Grâce à une recherche booléenne, des mots clés ont été combinés et des relations ont été identifiées entre eux. Des filtres ont été utilisés pour la langue (anglaise et française) et les résultats ont été triés par pertinence, à l'exclusion des brevets et des citations. Le nombre total de documents sélectionnés était de 10086. 47 documents ont spécifiquement traité des questions liées à la relation entre les outils Lean et les technologies de l'I4.0 qui correspondent à nos critères, abordés dans la section suivante. Le tableau 4 fournit une classification plus détaillée de chaque document de recherche examiné.

#### ❖ Gestion des documents

Il s'agit d'une activité visant à organiser les documents collectés, pour que les processus de numérisation et d'analyse puissent être réalisés.

#### ❖ Normalisation et sélection des documents

La normalisation et la sélection des documents se réfèrent au processus de détermination des filtres pour le tri des articles. Dans un premier temps, nous avons vérifié l'existence de doublons parmi les 10086 documents, ce qui a conduit à l'exclusion de 220 documents. Ainsi, l'alignement des 9886 documents restants sur le thème de recherche a été vérifié sous trois aspects : (i) le titre, (ii) les mots clés et (iii) le résumé. En ce qui concerne le point (i), 4385 articles sur 9886 ont été ignorés en raison de titres qui ne font pas référence à l'intérêt principal de cette recherche. Ensuite, les mots-clés des 5501 articles restants ont été analysés, dont 4500 ont été exclus parce que nous n'avons pas trouvé de correspondance adéquate avec le sujet étudié. Troisièmement, les résumés de 1001 articles ont été vérifiés, indiquant que seuls 53 d'entre eux étaient effectivement conformes aux attentes de cette recherche. Comme 6 articles n'ont pas été présentés dans leur version complète, ils ont été exclus et une analyse complète du contenu des 47 autres articles a été effectuée, car il s'agit

des articles qui étudiaient la coopération entre les outils et les technologies de gestion allégée dans l'Industrie 4.0.

#### ❖ *Composition du Portefeuille Bibliographique (BP)*

Dans l'activité numéro 4 de la première phase (stratégie de la recherche). L'organisation du BP a été conclue. Les 47 documents ont été lus dans leur intégralité pour permettre l'exclusion des documents qui ne sont pas liés au sujet de la recherche. Au total, aucun des documents n'a été ignoré, ce qui a donné lieu à un BP final de 47 documents (Figure 11).

#### 4.3.2 Phase 2 : Analyse

La deuxième phase a permis de compiler les données : En analysant et en interprétant les données, il nous a été permis de déterminer les caractéristiques pertinentes des données liées au thème de recherche (Ferenhof & Fernandes, 2016). Dans cette étude, nous avons répondu aux questions suivantes : quelles sont les technologies de l'Industrie 4.0 liées aux outils de Lean Management ; et quels sont les outils de Lean Management corrélés aux technologies de l'Industrie 4.0 ?

#### 4.3.3 Phase 3 : Synthèse

À ce stade (activité 3), les informations de la phase précédente ont été examinées et présentées dans des rapports, des tableaux et des graphiques. Cet aperçu a été fait à partir de deux perspectives conceptuelles principales : Intégration des outils Lean avec les technologies de l'I 4.0, et Corrélation entre la gestion Lean et l'I4.0. Une matrice de connaissances a été construite, qui est décrite en détail dans les sections suivantes sous la forme d'une analyse de l'état de la littérature qui justifie chaque lien entre les technologies I4.0 et les outils de Lean Management. Et en raison de la nature exploratoire de la recherche, une étude de cas a été considérée comme appropriée (Yin, 1994).

#### 4.3.4 Phase 4 : Rédaction

La dernière phase a été focalisée sur la construction et la documentation des résultats. Dans le cadre de cette activité, les résultats des phases précédentes ont été comparés avec les résultats initialement déterminés. Cela nous a permis d'identifier les principaux résultats de notre recherche (Ferenhof & Fernandes, 2016).

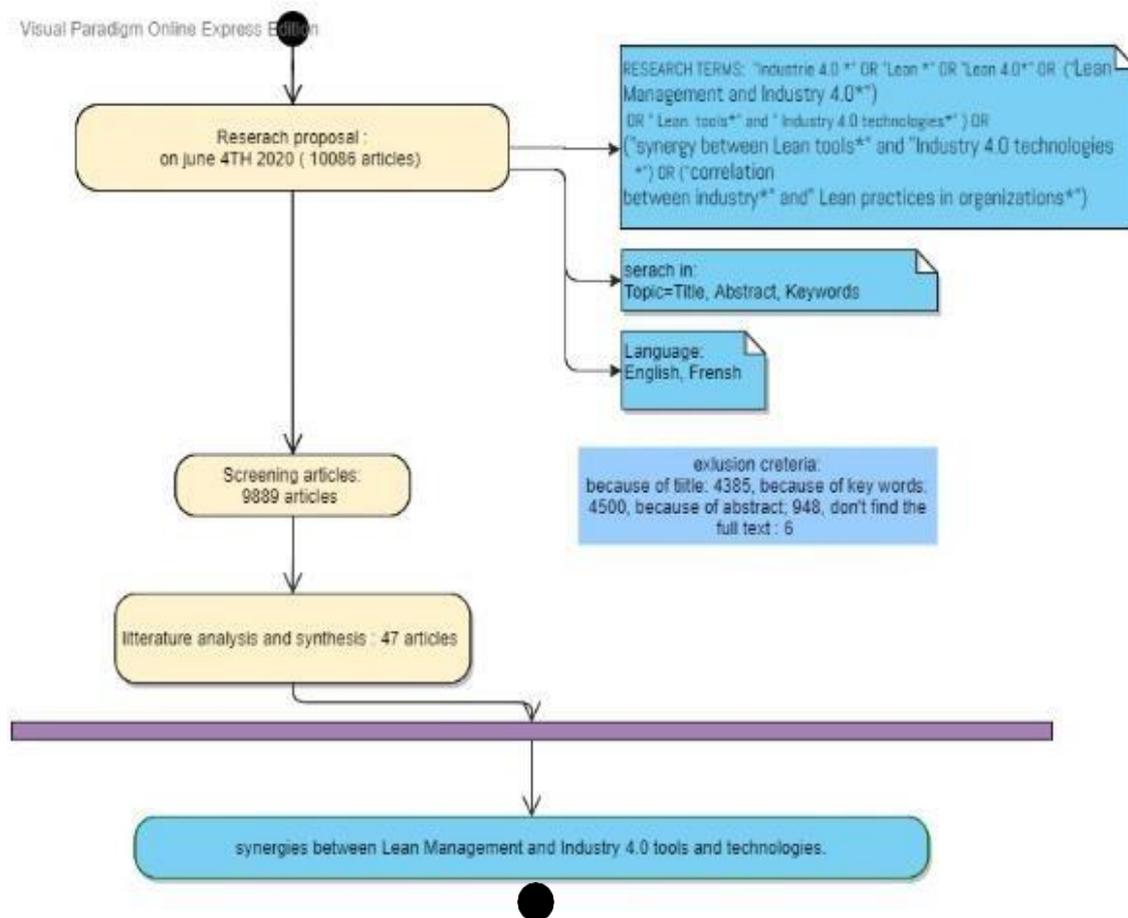


Figure 11: La méthodologie de la recherche sur la corrélation entre le LM et l'I4.0. Source : auteurs.

#### 4.4 La croissance de la recherche : Évolution des interdépendances entre le Lean et l'Industrie 4.0 sur la base de donnée Web of Science « WOS »

La Figure 12 montre le nombre de citations par an que ces études ont reçues. Nous remarquons le nombre croissant d'études publiées sur le Lean et l'Industrie 4.0 de 2011 à 2020. Elle montre deux phases dans la tendance de la publication. La première phase représente la période entre 2011 et 2015, avec moins d'une vingtaine d'enquêtes par an. La deuxième phase comprend la période entre 2016 et 2020, où le nombre annuel moyen d'études pour cette période est estimé entre 20 et 70, le nombre maximum d'études étant de 70 en 2019. La Figure 12 montre le nombre total de publications (cumulées) et le nombre total de citations sur le thème "Lean and Industry 4.0" entre 2011 et 2020.

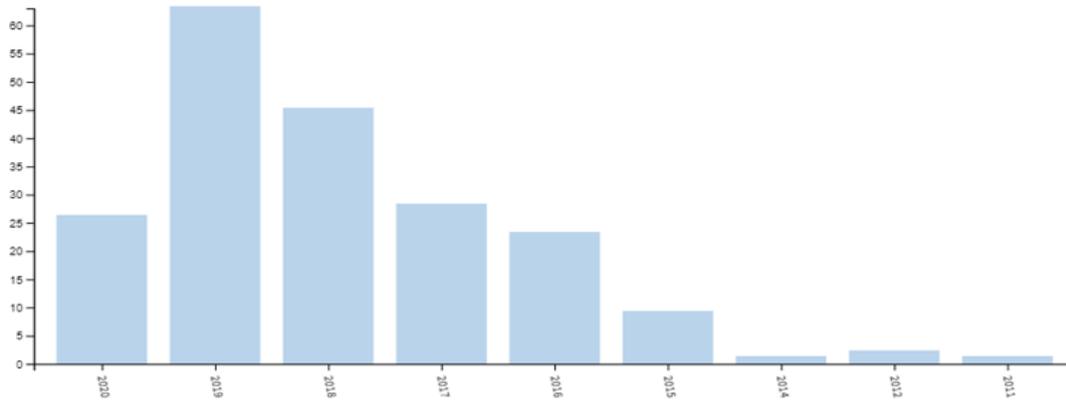


Figure 12: Total des publications (cumulé) et total des citations sur le Lean et l'Industrie 4.0 entre 2011 et 2020.

#### 4.4.1 Domaine du Lean management et de l'Industrie 4.0

Cette étude présente une liste de documents publiés sur la base de données du Web Of Science sur le Lean 4.0 afin de déterminer la répartition des secteurs dans lesquels LM et I4.0 ont été abordés (Figure 13). Les résultats ont, entre autres, montré la diversité des disciplines universitaires dans lesquelles le Lean Management et l'Industrie 4.0 sont utilisés. Dans l'ensemble, la répartition indique que la recherche sur la LM et l'I4.0 émerge dans une variété de domaines allant de l'ingénierie, l'informatique, la gestion de la recherche opérationnelle, l'économie d'entreprise, les systèmes de contrôle de l'automatisation, les sciences de l'environnement...etc. Comme indiqué dans les documents examinés, les documents scientifiques sur l'Industrie 4.0 sont mieux présentés du point de vue de l'ingénierie (65,65 %), de l'informatique (17,67 %), de la recherche opérationnelle la gestion de la recherche (12,62%) et les sciences de l'environnement (3,53%) (Figure 13).



Figure 13: Top 10 des sujets les plus utilisés dans la publication. Source : WOS

Nous pouvons constater qu'il existe une certaine équité entre la gestion et l'informatique, et cela est logique car, historiquement, le Lean a non seulement remis en question les pratiques acceptées de production de masse dans l'Industrie automobile, mais il a également réussi à remettre en question les pratiques informatiques acceptées dans l'Industrie et la fabrication. Il a été aligné sur la stratégie de l'Union européenne concernant l'initiative du système de forum de production sur l'avenir de la production 2018, selon laquelle il doit être axé sur les solutions, centré sur les personnes, socialement inclusif et durable (Kearney, 2018), ce qui explique le pourcentage élevé de ces domaines, en particulier l'environnement.

#### 4.4.2 Répartition géographique des publications sur le Lean 4.0

Nous constatons que la distribution des publications sur le Lean management et l'Industrie 4.0 est inégalement répartie à travers le monde (Figure 14). En tête de liste, nous trouvons l'Allemagne avec un total de 34 publications, suivie par l'Italie avec 33 publications, la Chine avec 22 publications, le Brésil avec 19 publications et les États-Unis d'Amérique (USA) avec un total de 18 publications. Nous pouvons également constater que le Japon n'a pas contribué à la productivité dans ce thème de recherche. Ainsi, la répartition

des publications sur le Lean management est inégalement répartie dans le monde et le centre de recherche sur le Lean management est situé aux États-Unis (García-Alcaraz, Maldonado-Macías, & Cortes-Robles, 2014). Alors que l'apparition de l'Industrie 4.0 s'est faite en Allemagne (Lugert, Batz, & Winkler, 2018), et que l'Université technologique du Sud de la République populaire de Chine est l'institut qui a le plus de publications (Muhuri, Shukla, & Abraham, 2019).

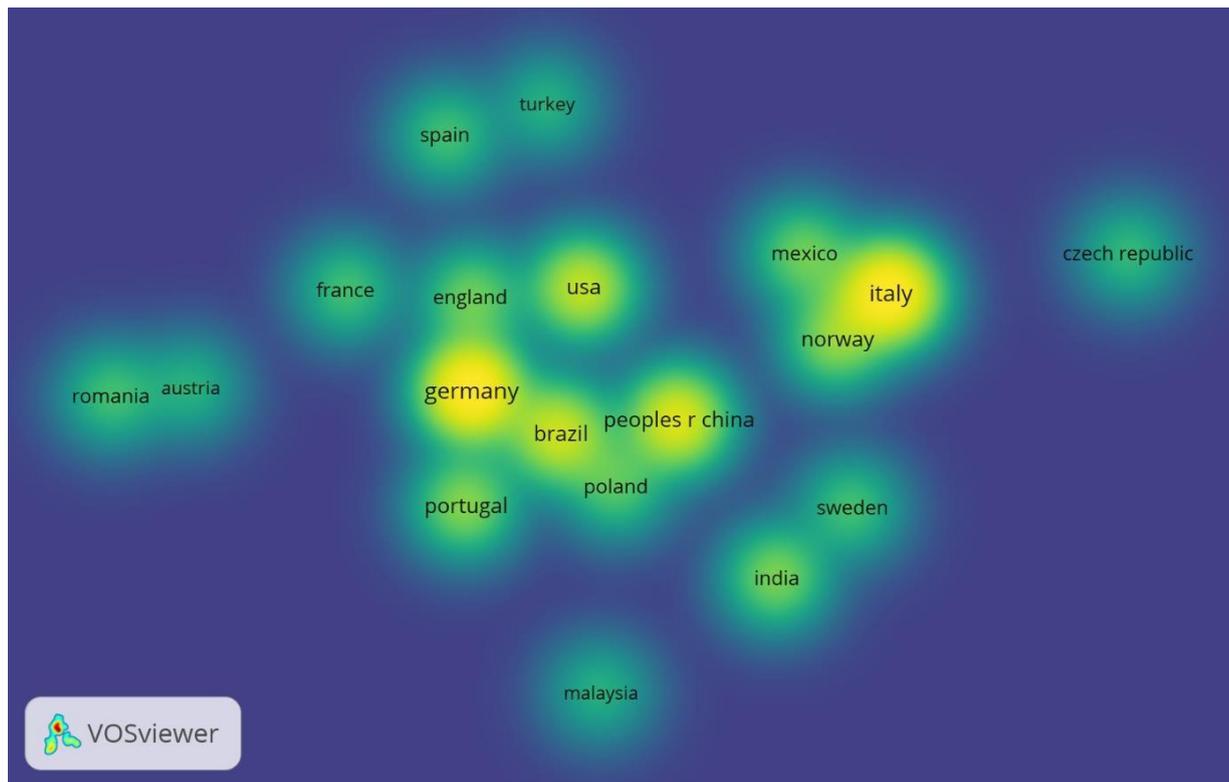


Figure 14: Répartition géographique des publications sur le Lean 4.0 source : WOS (Auteurs).

La contribution des auteurs Selon les résultats obtenus par Vos viewer, il n'est pas surprenant que l'Allemagne, l'Italie, les États-Unis, la Chine et certains autres pays européens dominent parce qu'ils ont une histoire Industrielle et une infrastructure technologique plus développées que dans d'autres régions du monde. Comme les Américains ont été parmi les premiers à s'engager dans ce domaine du Lean management, il semble que Toyota était très consciente de son avantage en termes de productivité à l'époque. Le Dr Monden a également relevé un document d'Anderson Ashburn dans *American Machinist* en juillet 1977, ainsi qu'une publication antérieure (Samuel et al., 2015). Mais l'Inde et le Brésil, deux des pays dits BRIC (O'Neil, 2001), figurent également parmi les cinq premiers. La mondialisation des

entreprises américaines et européennes vers ces pays a probablement suscité un intérêt pour les domaines du Lean management et l'on s'attend à ce que cette tendance continue de s'accroître. Depuis des années, les producteurs et les fabricants qui opèrent dans les deux économies les plus dynamiques du monde doivent trouver des moyens de travailler plus intelligemment pour réduire les coûts et continuer à attirer des entreprises. Alors que de nombreux services et Industries manufacturières dans le pays ont mis en œuvre la gestion allégée comme outil pour améliorer leurs performances organisationnelles, il reste un grand écart dans sa mise en œuvre afin de tirer pleinement parti des avantages de la fabrication allégée. Bradley R Staats, de l'université d'État de Caroline du Nord, qui a contribué à la mise en œuvre de la stratégie de gestion allégée de l'entreprise de logiciels indienne et brésilienne Wipro. Malgré que la Chine est un pays en croissance, une vision du gouvernement pour déployer l'Industrie 4.0 avec la devise "Made in China 2025" (D. Lin, Lee, Lau, & Yang, 2018).

#### 4.4.3 Analyse du réseau bibliographique

##### *Analyse du réseau de citations (CAN)*

Selon l'analyse des données du Web Of Science, une analyse des citations du réseau a été réalisée pour identifier les liens et les sujets de recherche cités dans les 200 articles analysés. Pour l'analyse CAN, les auteurs ont cartographié les mots clés fournis pour chaque article à l'aide du logiciel de visualisation VOS. La Figure 15 et le Tableau 10 présentent les citations des documents des auteurs.

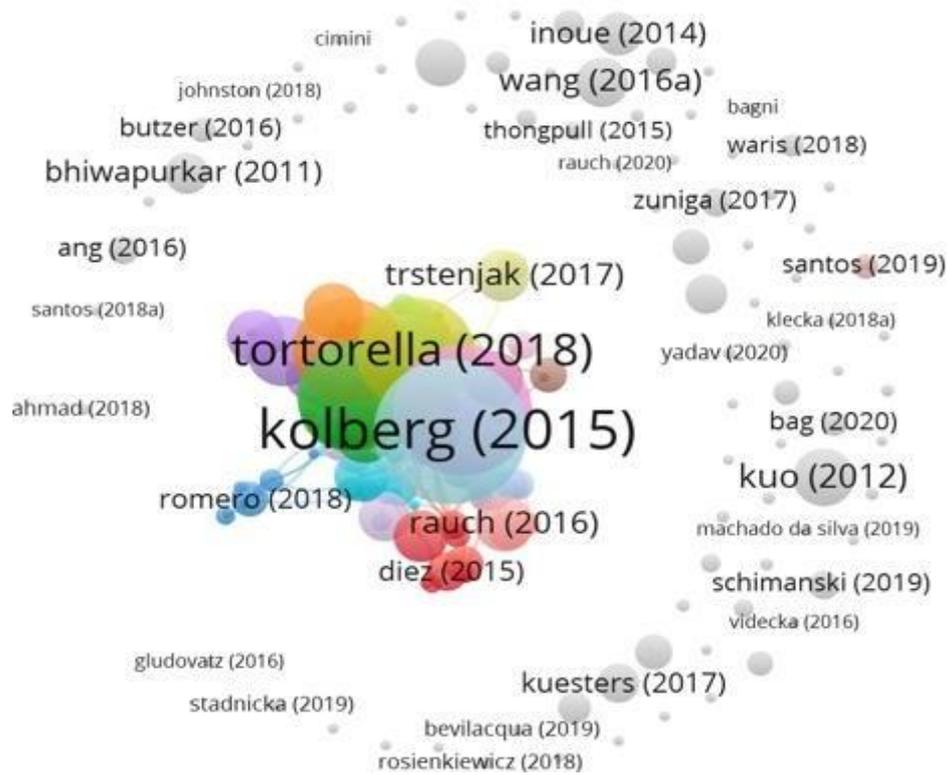


Figure 15:Citation des auteurs. Source : traitement des auteurs avec Vos Viewer.

<i>x(Mrugalska &amp; Wyrwicka, 2017)</i>	67	25
(Kolberg, Knobloch, & Zühlke, 2017)	46	22
(Pereira, Dinis-Carvalho, Alves, & Arezes, 2019)	0	14
(Rossini et al., 2019)	2	14
(G. Tortorella et al., 2020)	0	14
(Satoglu, Ustundag, Cevikcan, & Durmusoglu, 2018b)	5	13
(Mayr et al., 2018)	19	13

*x(Mrugalska & Wyrwicka, 2017)* 67 25

(Shahin et al., 2020)	0	12
(Rosin et al., 2020)	1	12
(Dombrowski et al., 2017)	15	12
(G. L. Tortorella et al., 2020)	0	11

L'auteur le plus influent a été Kolberg D, un Dr.-Ing : Dennis Kolberg, il a publié 12 articles sur le Lean et l'Industrie 4.0 et il a obtenu 500 citations. C'était très rare car c'était un jeune scientifique. Ce n'est plus étonnant car son nom est le plus cité. Son article intitulé *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*, publié en 2015 est le plus cité, il présentait une introduction à la combinaison du Lean et des technologies de l'I4.0, connue sous le nom de Lean Automation. En outre, il aborde les principaux éléments constitutifs de l'Industrie 4.0 et les relie à l'approche Lean qui a fait ses preuves (Kolberg & Zühlke, 2015). Il est suivi par Sanders (Sanders et al., 2016), qui a examiné l'intégration du Lean dans l'Industrie 4.0. Les auteurs affirment que les pratiques Lean combinées aux technologies de l'Industrie 4.0 et leur mise en œuvre conjointe peuvent améliorer les performances.

En troisième lieu, Tortorella et al (G. L. Tortorella & Fettermann, 2018) ont examiné une étude de cas sur l'introduction de l'I4.0 et du Lean dans les entreprises brésiliennes.

#### 4.4.4 Les articles du Lean 4.0 les plus cités

Ana Pereira et al. (Pereira et al., 2019), visent dans leur recherche à examiner comment 12 technologies de l'Industrie 4.0 peuvent améliorer les pratiques d'allègement et à analyser leurs implications et avantages pour les entreprises qui s'orientent vers ce nouveau modèle Industriel.

Sule satoglu et al.(Satoglu et al., 2018a), souligne la relation entre le Lean et l'Industrie 4.0 et propose un cadre qui donne des directives pour le développement du Lean 4.0. En outre, 7 technologies pour l'Industrie 4.0 et des applications d'automatisation orientées vers la production allégée sont également incluses.

Le document de Tortorella et al. (G. Tortorella et al., 2020) doit suggérer des lignes directrices intégrées dans 3 technologies I4.0 pour la conception de flux de valeur allégée. Ils ont recueilli l'avis d'experts sur l'association entre les principes de conception de flux de valeur allégée et les technologies I4.0. Les relations étroites ont soutenu la suggestion d'une ligne directrice améliorée pour la conception de flux de valeur allégée à la lumière de l'Industrie 4.0.

Wagner et al (Wagner et al., 2017). Leur article présente l'environnement de connectivité de l'IoT et de l'IoS avec la vision de l'usine intelligente dans une production allégée. Pour soutenir le processus de développement, une matrice examine les éléments du Lean avec 7 technologies de l'I4.0 est présentée.

Tortorella et al (G. Tortorella et al., 2020) essaient de trouver la relation entre la production allégée et 3 technologies de l'Industrie 4.0. Et, sur la base de ces résultats, ils ont proposé un cadre pour le déploiement du Lean 4.0.

L'article de Kolberg et al. (Kolberg & Zühlke, 2015) présente les combinaisons existantes entre la production allégée et les technologies I4.0. Le document de Sanders et al.(Sanders et al., 2016), relie la production allégée à 5 technologies de l'Industrie 4.0 et reconnaît avec précision quels aspects de l'Industrie 4.0 contribuent de la meilleure façon possible aux dimensions respectives de la production.

Dans (Sanders et al., 2017), Sanders et al. une matrice de diagramme d'interaction des outils LM est développée pour mesurer l'impact des outils LM sur les principes de l'Industrie 4.0 et la technologie de l'Internet des services. La combinaison de ces principes de conception de l'Industrie 4.0 et de la technologie IoS avec les outils LM démontre plusieurs possibilités de réaliser des synergies résultant de la mise en œuvre de futures usines intelligentes interconnectées.

Chen et al. Dans leur étude, sept questions clés de gestion sont également abordées comme suit :

L'impression 3D intellectuelle, l'évaluation et l'optimisation de la faisabilité, la gestion des bases de données 3D, les droits de propriété, la fabrication omniprésente, la mondialisation et la déglobalisation, l'innovation commerciale et la fabrication sans gaspillage. Ainsi, l'étude soutient que les défis d'ingénierie doivent être relevés pour assurer la fabricabilité d'une implémentation d'impression 3D dans un contexte de production (Chen & Lin, 2017).

Karre et al, dans (Karre et al., 2017), visent à fournir un apprentissage expérientiel pratique dans un domaine proche de l'environnement Industriel pour aider à un transfert efficace des connaissances. Il a parlé dans leur article de la relation des 3 technologies de l'Industrie avec les outils du Lean management.

Kolberg et al dans (Kolberg et al., 2017), décrivent les travaux actuels visant à développer une interface appropriée pour la mise en œuvre de méthodes de fabrication sans gaspillage utilisant des systèmes et des capteurs cyber physiques (CPS).

Meudt et al (Meudt, Metternich, & Abele, 2017) proposent 3 approches principales dans leur article : Tout d'abord, ils ont examiné comment la Toyota 7 + 1 a suivi pour réduire les déchets par LP, scanning ou I4.0. Deuxièmement, ils se sont concentrés sur les déchets de la logistique de l'information qui doivent être analysés et éliminés. Troisièmement, les options I4.0 ont été examinées pour soutenir la mise en œuvre des principes Lean. Leur méthode vise à trouver les possibilités offertes par la LP, en se basant systématiquement sur les problèmes, la numérisation ou l'I4.0 pour atteindre le niveau d'amélioration souhaité.

#### 4.4.5 Analyse des mots-clés

Pour l'analyse des mots-clés, les auteurs ont cartographié les mots-clés fournis pour chaque article à l'aide du logiciel de visualisation VOS. Dans le premier classement, les mots les plus fréquemment cités ont été divisés en plusieurs groupes: Industrie 4.0, Lean production, usine du futur, mise en œuvre, performance, Lean manufacturing, cadre, gestion, Lean management, modèle, grandes données, conception ...etc (Figure16).

Le deuxième classement montre les mots clés qui ont été liés aux technologies et outils de production allégée tels que : l'Usine intelligente, Production de cyber sécurité (CPS), Internet de la pensée (IoT), Automatisation, Chaîne d'approvisionnement, Grandes données



#### 4.4.6 Travaux préliminaires liés au Lean 4.0

Selon Dombrowski et al. La littérature disponible présente une double perspective : soit le LM est considéré comme un outil de facilitation du ML, soit les outils I4.0 sont considérés comme des facilitateurs du LM (Dombrowski et al., 2017). Il est largement reconnu que la combinaison de ces deux outils crée des synergies positives. Le [Tableau 11](#) donne un aperçu de la littérature qui soutient ces perspectives. Après avoir décrit ces trois perspectives, elles sont examinées dans la présente étude dans les limites des recherches existantes. et après nous avons présenté d'une façon plus détaillée la corrélation entre le Lean et l'I4.0

Tableau 10: Perspectives existantes sur la corrélation de I4.0 et LM. Source: Auteurs

<i>Perspective</i>	<i>Auteurs</i>
LM comme facilitateur de l'I4.0	(BearingPoint, 2017; Biao, ZHAO, WAN, Hong, & Jian, 2016; Bick, 2014; Huber, 2016; Koether & Meier, 2017; Künzel, 2016; R. R. Maier & Mies, 2019; Metternich et al., 2017; Staufen & der TU Darmstadt, 25AD; Zuehlke, 2010)
I4.0 comme facilitateur du LM	(Wagner et al., 2017), (Kolberg & Zühlke, 2015), (Pokorni et al., 2017; Rüttimann & Stöckli, 2016; Spath et al., 2013)
La corrélation positive entre LM et I4.0	(Sanders et al., 2016), (Mayr et al., 2018), (Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Vogel-Heuser et al., 2017)

#### 4.4.7 Lean management comme outil de facilitation pour l'Industrie 4.0

Plusieurs auteurs citent la LM comme une condition préalable à l'introduction réussie de solutions I4.0 (Huber, 2016; Ketteler & König, 2017). Ceci est soutenu par l'hypothèse de Bill Gates selon laquelle l'automatisation des processus inefficaces amplifiera leur inefficacité (Mayr et al., 2018). L'ensemble de ces idées peut être résumé comme suit :

- ✚ Des processus normalisés, transparents et reproductibles sont d'une importance fondamentale pour l'introduction de l'I4.0 (Huber, 2016; Ketteler & König, 2017).
- ✚ Les décideurs ont besoin de la compétence des LM pour prendre en compte la valeur du client et éviter le gaspillage.
- ✚ En réduisant la complexité des produits et des processus, LM permet une utilisation efficace et économique des outils I4.0 (Bick, 2014).

C'est pourquoi les processus allégés sont considérés comme une base pour la mise en œuvre efficace et économique de l'I4.0.

Cependant, Nyhuis et al., annotent que la mise en œuvre de LM et de I4.0 peuvent s'influencer mutuellement de manière itérative (Nyhuis, Schmidt, & Quirico, n.d.).

#### 4.4.8 Industrie 4.0 comme facilitateur du Lean management

Wagner et al. (Wagner et al., 2017), ainsi que Pokorni et al. (Pokorni et al., 2017) décrivent que les processus d'allègement peuvent être stabilisés et affinés en appliquant l'Industrie 4.0. Alors que Ruettimann et al., soulignent la capacité à améliorer la flexibilité des systèmes modernes de la production Lean management. Kolberg et Zuehlke déclarent que la méthode I4.0 peut améliorer la LM (Rüttimann & Stöckli, 2016), (Kolberg & Zühlke, 2015). Ainsi, I4.0 contribue à remédier aux limites de la maîtrise des coûts. Par exemple, la production économique de biens dans un lot de taille unique est un moyen d'améliorer les économies de production au-delà des économies d'échelle. Les données en temps réel améliorent la transparence et la qualité de l'information. De plus, I4.0 est un facilitateur pour faire face à une demande fluctuante du marché supérieure à une production nivelée en LM. Enfin, la flexibilité accrue grâce à I4.0 qui permet de faire face à la complexité croissante.

#### 4.5 *La corrélation entre l'Industrie 4.0 et le Lean management*

Mrugalska et Wyrwicka ont constaté que I4.0 et Lean peuvent coexister et se soutenir mutuellement. Vogel-Heuser et al. ont rejeté une contradiction entre LM et I4.0 (Vogel-Heuser et al., 2017). En outre, l'adoption de la norme I4.0 peut aider à surmonter les obstacles existants à la mise en œuvre de la méthode Lean (Sanders et al., 2016). En ce qui concerne l'utilisation réelle des ressources (finances, main-d'œuvre, matériaux,

machines/équipements), il est clair que l'Industrie 4.0 devrait être appliquée aux processus Lean (Satoglu et al., 2018b). Nunes et al., ont déclaré que l'approche I4.0 n'est pas un substitut au Lean, et que les deux peuvent et doivent être intégrés (Nunes et al., 2017). Cependant, la puissance de l'Industrie 4.0 ne deviendra pas une révolution Industrielle si elle n'est pas intégrée dans le cadre théorique du LM (Rüttimann & Stöckli, 2016).

Les études précédentes de l'Industrie 4.0 ne sont que théoriques, mais elles ne sont pas facilement adaptées pour être appliquées dans une organisation. En outre, il manque une structure complète qui lie les méthodes de gestion aux solutions de l'Industrie 4.0 (Leyh, Martin, & Schäffer, 2017). Il est donc nécessaire de mettre en place un système permettant de réussir l'intégration du Lean et de l'Industrie 4.0 (Sanders et al., 2016). Malgré la popularité du standard I4.0, la littérature sur ses liens avec le domaine plus populaire du Lean Management est encore rare (Bittencourt, Alves, & Leão, 2019). Peu d'études ont été menées sur la pertinence de l'étude de la relation entre le LM et l'Industrie 4.0 (Buer, Strandhagen, & Chan, 2018 ; Kolberg, Knobloch, & Zühlke, 2017 ; Sanders et al., 2016 ; G. L. Tortorella & Fettermann, 2018). Dans (Sanders et al., 2016), les auteurs ont indiqué que la compréhension de cette relation et de son impact sur la performance opérationnelle doit être étudiée plus en profondeur. Ainsi, bien que des expériences et des initiatives pratiques de recherche existent déjà, elles appliquent généralement un aspect unique ou isolé. En outre, dans (Buer et al., 2018; Kolberg et al., 2017; Sanders et al., 2016; G. L. Tortorella & Fettermann, 2018). Dans l'article de (Sanders et al., 2016), les auteurs ont suggéré qu'il est nécessaire de développer une compréhension de la manière dont ces domaines interagissent.

Dans ce contexte, après avoir examiné les outils possibles d'élimination des déchets fournis par les technologies de l'I4.0, nous avons effectué les recherches le 4 juin 2020 en utilisant les requêtes en jachère : Lean Management Tools; Lean Management and Industry 4.0; Lean 4.0 Industry Tools and Technologies 4.0; Synergy between Lean and Industry 4.0; Synergy between Lean Tools and Industry 4.0 Technologies; Correlation between Industry and Lean Practices in Organizations; Impact of Industry 4.0 Technologies on Lean Practices. Ensuite, pour faire une recherche avancée sur la corrélation entre les outils de production au plus juste et les technologies de l'I4.0, une seconde recherche a été effectuée avec les mêmes mots clés sur Google Scholar. La recherche a initialement généré 200 résultats dans Web Of Science, et 1112100 résultats dans Google Scholar en tenant compte du titre, du résumé et des mots clés. Parmi ces références, 35 portaient spécifiquement sur

des questions liées à la relation entre les outils Lean et les technologies de l'I4.0 qui répondent à nos critères, seront abordés dans la section suivante. La figure 6 montre la méthodologie de la recherche sur la corrélation entre le LM et L'I4.0. Le [Tableau 12](#) et la [Figure 17](#) montrent ce lien projeté entre les pratiques LM et les technologies de l'I4.0, par 35 auteurs qui correspondent nos critères. (Ahmad, Masse, Jituri, Doucette, & Mertiny, 2018; Buer et al., 2018; Chen & Lin, 2017; Davies, Coole, & Smith, 2017; Dombrowski et al., 2017; Ejsmont & Gładysz, 2020; Ejsmont et al., 2020; Enke et al., 2018; Goienetxea Uriarte et al., 2020; Hambach, Kümmel, & Metternich, 2017; Karre et al., 2017; Kolberg et al., 2017; Kolberg & Zühlke, 2015; Lugert et al., 2018; Ma et al., 2017; Malavasi & Schenetti, 2017; Mayr et al., 2018; Meudt et al., 2017; Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Pereira et al., 2019; Powell, Romero, Gaiardelli, Cimini, & Cavalieri, 2018; Prinz, Kreggenfeld, & Kuhlenkötter, 2018; Romero, Gaiardelli, Powell, Wuest, & Thürer, 2018; Rosin et al., 2020; Sanders et al., 2016, 2017; Satoglu et al., 2018a; Shahin et al., 2020; Slim et al., 2018; G. L. Tortorella et al., 2020; G. Tortorella et al., 2020; Valamede & Akkari, n.d.; Wagner et al., 2017)

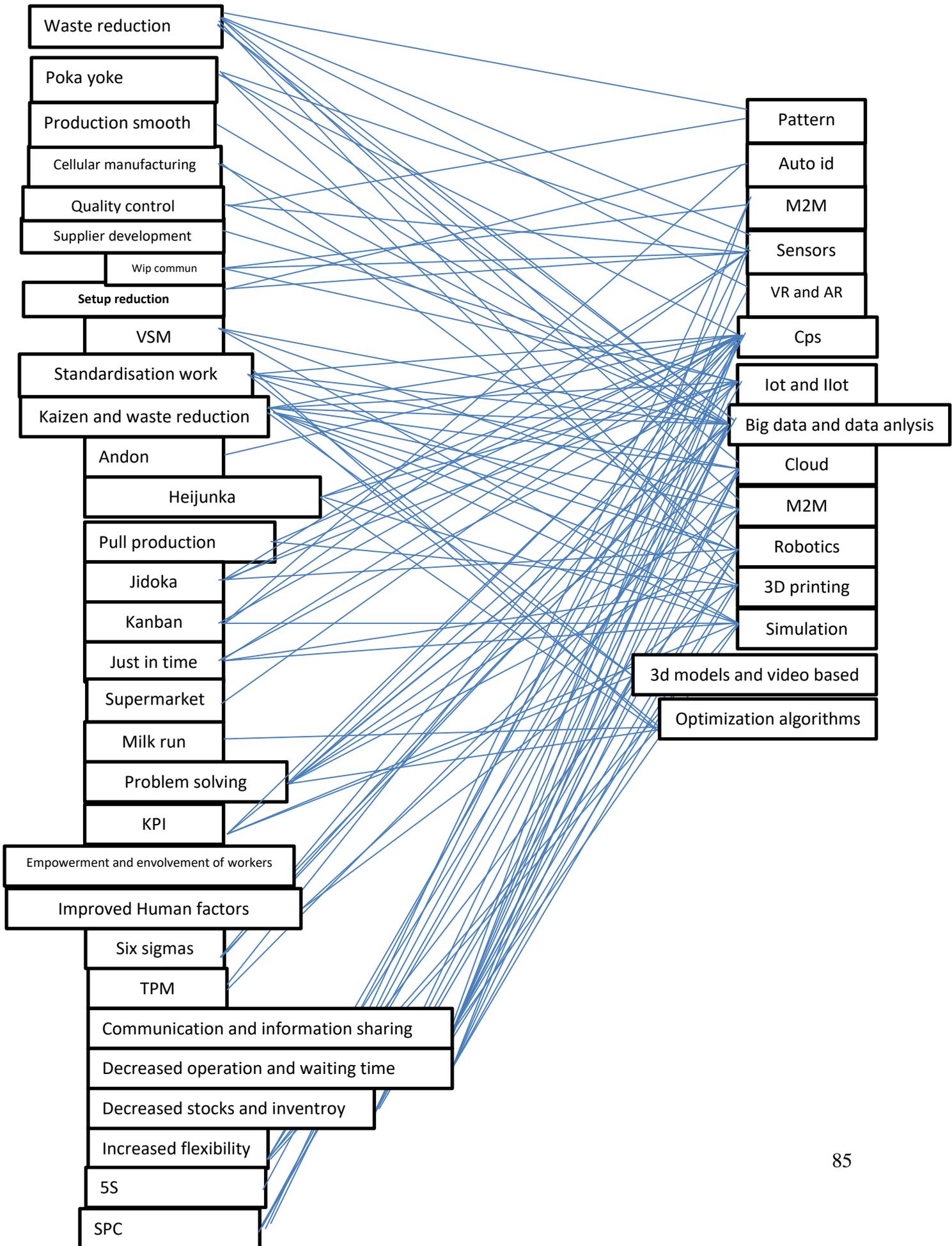


Figure 17:Les outils du Lean management rendus possibles par les technologies de l'Industrie 4.0. Source : Auteurs.

Tableau 11:La synergie entre les outils du Lean management et les technologies de l'Industrie 4.0. Source : contribution des auteurs.

Lean / I4.0		IoS	CPS	IoT	Big data	CLOUD	Robotics	3D printing	simulation	Video based and 3d models	Optimization Algorithms	M2M	sensors	Augmented reality	Virtual reality	Pattern Recognition	Data analysis
VSM				(Malavasi & Schenetti, 2017)	(Ejsmont et al., 2020)	(Bittencourt et al., 2019)				(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Dombrowski et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Pereira, Dinis-Carvalho, Alves, & Arezes, 2019)	(Dombrowski et al., 2017; Pereira et al., 2019)		(Ejsmont et al., 2020)
St Work			(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)			(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)						
Continuous Improvement (Kaizen)			(Buer, Strandhagen, & Chan, 2018)	(Goienetxea Uriarte et al., 2020)	(Bittencourt et al., 2019; Meudt, Mettemich, & Abele, 2017)	(Bittencourt et al., 2019; Valamede & Akkari, n.d.)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)		(Buer et al., 2018; Wagner et al., 2017)	(Pereira et al., 2019)	(Bittencourt et al., 2019; Shahin et al., 2020)					
Andon			(Buer et al., 2018; Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019; Wagner et al., 2017)		(Rossini, Costa, Tortorella, & PortioliStaudacher, 2019),				(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)		(Kolberg et al., 2017; Shahin et al., 2020)	(Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Shahin et al., 2020)	(Shahin et al., 2020)		
Heijunka	(Sanders, Subramanian, Redlich, & Wulfsberg, 2017)		(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019),	(Mayr et al., 2018; Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)				(Pereira et al., 2019)	(Wagner et al., 2017)		(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Mayr et al., 2018; Wagner et al., 2017)

	<i>IoS</i>	<i>CPS</i>	<i>IoT</i>	<i>Big data</i>	<i>CLOUD</i>	<i>Robotics</i>	<i>3D printing</i>	<i>simulation</i>	<i>Video based and 3d models</i>	<i>Optimization Algorithms</i>	<i>M2M</i>	<i>sensors</i>	<i>Augmented reality</i>	<i>Virtual reality</i>	<i>Pattern Recognition</i>	<i>Data analysis</i>
Pull Flow		(Pereira et al., 2019; Prinz et al., 2018)		(Dombrowski et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017)	(G. L. Tortorella et al., 2020)	(Pereira et al., 2019; G. Tortorella et al., 2020)				(Romero et al., 2018; Wagner et al., 2017)		(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)		
Jidoka		(Malavasi & Schenetti, 2017; Slim et al., 2018)	(Rosin, Forget, Lamouri, & Pellerin, 2020; Slim et al., 2018)	(Shahin et al., 2020; Wagner et al., 2017)	(Lugert et al., 2018; Wagner et al., 2017)	(Pereira et al., 2019),					(Lugert et al., 2018; Wagner et al., 2017)	(Satoglu et al., 2018b; Shahin et al., 2020)	(Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Lugert et al., 2018; Wagner et al., 2017)
Kanban		(Ejsmont et al., 2020; Kolberg & Zühlke, 2015)		(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)	(Ahmad et al., 2018)	(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)		(Goienetxea Uriarte et al., 2020; Pereira et al., 2019)			(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)	(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)	(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)	(Davies et al., 2017; Lugert et al., 2018)	(Ahmad et al., 2018; Romero et al., 2018)	(Kolberg & Zühlke, 2015)
Just In Time		(Ejsmont et al., 2020; Pereira et al., 2019)	(Rosin et al., 2020; Sanders et al., 2016)	(Ejsmont et al., 2020; Mayr et al., 2018)	(Malavasi & Schenetti, 2017; Wagner et al., 2017)		(Chen & Lin, 2017; Pereira et al., 2019)	(Goienetxea Uriarte et al., 2020; Pereira et al., 2019)				(Kolberg & Zühlke, 2015; Wagner et al., 2017)	(Valamede & Akkari, n.d.; Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Mayr et al., 2018; Wagner et al., 2017)
Supermarket		(Pereira et al., 2019)		(G. L. Tortorella et al., 2020)								(G. L. Tortorella et al., 2020),				
Milkrun										(Pereira et al., 2019)						
Problem-Solving		(Pereira et al., 2019)	(Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)					(Pereira et al., 2019)			(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)		
Kpi		(Ejsmont et al., 2020; Pereira et al., 2019)		(Ejsmont et al., 2020; Wagner et al., 2017)				(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)							(Ejsmont et al., 2020)

	<i>IoS</i>	<i>CPS</i>	<i>IoT</i>	<i>Big data</i>	<i>CLOUD</i>	<i>Robotics</i>	<i>3D printing</i>	<i>simulation</i>	<i>Video based and 3d models</i>	<i>Optimization Algorithms</i>	<i>M2M</i>	<i>sensors</i>	<i>Augmented reality</i>	<i>Virtual reality</i>	<i>Pattern Recognition</i>	<i>Data analysis</i>
Empowerment and Involvement of Workers			(Ejsmont et al., 2020)	(Pereira et al., 2019)	(Ejsmont et al., 2020)						(Sanders et al., 2016)					
Improved Human Factors							(Pereira et al., 2019)						(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)		
TPM (Total Productive Maintenance)	(Sanders et al., 2017)	(Pereira et al., 2019)	(Karre et al., 2017)	(Mayr et al., 2018; Valamede & Akkari, n.d.)	(Mayr et al., 2018; Pereira et al., 2019)			(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Sanders et al., 2016)	(Satoglu et al., 2018a)	(Davies et al., 2017; Enke et al., 2018)	(Davies et al., 2017; Enke et al., 2018)		(Mayr et al., 2018; Satoglu et al., 2018a)
Communication and Information Sharing		(Kolberg et al., 2017; Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)			(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)		
Decreased Operation and Waiting Times		(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)									
Decreased Stocks and Inventory Management		(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)	(Pereira et al., 2019)									
Increased Flexibility		(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)				(Pereira et al., 2019)		(Pereira et al., 2019)						
Cellular Manufacturing				(Satoglu et al., 2018a)				(Goienetxea Uriarte et al., 2020)								(Satoglu et al., 2018a)
Set Up Production Used SMED								(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Sanders et al., 2016)		(Kolberg & Zühlke, 2015) (Mrugalska & Wyrwicka, 2017)			
CIM	(Kolberg & Zühlke, 2015)		(Satoglu et al., 2018a)	(Satoglu et al., 2018a)			(Satoglu et al., 2018a)				(Satoglu et al., 2018a)	(Satoglu et al., 2018a)				(Satoglu et al., 2018a)
Supplier Development		(Ejsmont et al., 2020)	(Ejsmont et al., 2020;		(Ejsmont et al., 2020)											(Satoglu et al., 2018a)

	<i>IoS</i>	<i>CPS</i>	<i>IoT</i>	<i>Big data</i>	<i>CLOUD</i>	<i>Robotics</i>	<i>3D printing</i>	<i>simulation</i>	<i>Video based and 3d models</i>	<i>Optimization Algorithms</i>	<i>M2M</i>	<i>sensors</i>	<i>Augmented reality</i>	<i>Virtual reality</i>	<i>Pattern Recognition</i>	<i>Data analysis</i>
			Satoglu et al., 2018a)													(Sanders et al., 2016)
WIP Reduction								(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Satoglu et al., 2018a)	(Satoglu et al., 2018a)				(Satoglu et al., 2018a)
Production Smooth																(Satoglu et al., 2018a)
Quality Control				(Sanders et al., 2016)						(Sanders et al., 2016)		(Satoglu et al., 2018a)			(Satoglu et al., 2018a)	(Satoglu et al., 2018a), (Enke et al., 2018)
5S				(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Chen & Lin, 2017)	(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Wagner et al., 2017)
Standardization			(Dombrowski et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Malavasi & Schenetti, 2017; Wagner et al., 2017)					(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)			(Wagner et al., 2017)
Waste Reduction				(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)		(Chen & Lin, 2017)			(Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Dombrowski et al., 2017; Wagner et al., 2017)	(Wagner et al., 2017)		(Malavasi & Schenetti, 2017; Wagner et al., 2017)
Takt Time				(G. L. Tortorella et al., 2020)			(G. L. Tortorella et al., 2020)	(Goienetxea Uriarte et al., 2020)			(Wagner et al., 2017)					
Machine Human Separation							(Chen & Lin, 2017)			(Wagner et al., 2017)						
Statistical Control Process (SCP)		(Kolberg & Zühlke, 2015)	(Sanders et al., 2016)	(Karre et al., 2017)								(Sanders et al., 2016)				
Poka Yoke		(Kolberg & Zühlke, 2015; Valamede		(Mayr et al., 2018)	(Mayr et al., 2018; Shahin et al., 2020)			(Goienetxea Uriarte et al., 2020)				(Shahin et al., 2020)	(Karre et al., 2017; Prinz et al., 2018)			(Mayr et al., 2018)

Lean

14.0

	<i>IoS</i>	<i>CPS</i>	<i>IoT</i>	<i>Big data</i>	<i>CLOUD</i>	<i>Robotics</i>	<i>3D printing</i>	<i>simulation</i>	<i>Video based and 3d models</i>	<i>Optimization Algorithms</i>	<i>M2M</i>	<i>sensors</i>	<i>Augmented reality</i>	<i>Virtual reality</i>	<i>Pattern Recognition</i>	<i>Data analysis</i>
		& Akkari, n.d.)														
QFD				(Sanders et al., 2016)												

Selon la revue de la littérature présentée dans ce document, la grande majorité de la littérature est associée à l'utilisation des concepts I4.0 pour soutenir les principes/outils Lean (Mayr et al., 2018; Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Rosin et al., 2020; Rossini, Costa, Tortorella, & Portioli-Staudacher, 2019; Sanders et al., 2016 ; Slim et al., 2018). Par exemple, les auteurs dans (Pereira et al., 2019) et (Satoglu et al., 2018) ont présenté la matrice "Lean Tools Supported by Industry 4.0 Technologies". Ejsmont et al. ont présenté un examen complexe des solutions Industry 4.0 qui soutiennent les techniques, outils et méthodes Lean I4.0 (Ejsmont & Gładysz, 2020 ; Ejsmont et al., 2020 ; Mayr et al., 2018). L'ouvrage de Wagner et al. présente des combinaisons d'outils I4.0 et de méthodes Lean, et Wagner et al. fournit une matrice pour soutenir le concept de développement de l'impact de l'I4.0 sur le Lean Manufacturing (Wagner et al., 2017).

Par conséquent, nous pouvons observer que les outils Lean les plus liés aux technologies 4.0 dans l'Industrie, Heijunka (12occ.), sont, l'amélioration continue (11occ.), Just in Time et Jidoka (10occ.), le partage d'informations de communication (5s.) et la réduction des déchets (9occ.) (5occ.). Parmi ces catégories, les technologies les plus couramment utilisées pour améliorer les outils de Lean Management sont Big Data (27 occ.), CPS (18 occ.), Capteurs (20 occ.), Réalité Augmentée (17 occ.) Analyse de données et impression 3D avec (15 occ.), Cloud (14 occ.), IoT (l'Internet des objets) (13 occ.). Ils représentent les principales technologies du "quatrième Industriel". Les catégories d'outils Lean les moins touchées sont la Smooth Production, le Qfd, l'Automatisation et la Production de lait (1occ), et les techniques 4.0 les moins liées sont : Pattern et IoS avec (1 occ.). D'après les résultats obtenus, il est clair qu'il existe une synergie entre la plupart des outils de gestion Lean et les technologies I 4.0.

Une perspective de recherche pertinente consisterait à valider la plus grande interdépendance qui a été démontrée entre les Big Data et l'analyse avec des outils Lean tels que: VSM, Travail de normalisation, Amélioration continue (Kaizen), Andon, Heijunka, Pull Stream, Jidoka, Kanban, Poka Yoke, Contrôle statistique des processus, 5S... etc. Certaines publications citent les grandes données et l'analyse des données comme facilitant la résolution des problèmes et favorisant la responsabilisation pour améliorer les services, réduire le gaspillage des activités humaines et des ressources matérielles, et réduire les coûts. En utilisant de grands

ensembles de données pour collecter et évaluer les informations en temps réel, il est maintenant possible d'améliorer l'efficacité des processus et de fournir des produits plus efficaces. (Pereira et al., 2019).

En ce qui concerne la synergie entre la réduction des déchets et les grandes données, les auteurs (Dombrowski et al., 2017 ; Malavasi & Schenetti, 2017 ; Mrugalska & Wyrwicka, 2017 ; Wagner et al., 2017) ont démontré que les grandes données peuvent être attribuées à l'élimination des déchets. En outre, pour les données en temps réel et les Big Data, les auteurs dans (Rosin et al., 2020) et (Ejsmont et al., 2020) ont suggéré d'utiliser les Big Data pour surveiller l'enregistrement des indicateurs de performance clés en temps réel.

Pour la résolution de problèmes avec les Big Data, Neuböck et Schrefl (Neuböck & Schrefl, 2015) ont souligné l'importance des méthodes de résolution de problèmes en situation et des données d'intelligence économique dans le contexte de l'Industrie 4.0 pour l'amélioration des processus. De même, Karlovits (Karlovits, 2017) a suggéré que les méthodes de résolution de problèmes ont un potentiel énorme pour l'efficacité de la production, et que les entreprises devraient mettre en œuvre des solutions de réseau basées sur les Big Data, et les techniques d'analyse pour l'amélioration des processus et pour les Big Data et le VSM. Dans son étude, Ejsmont (Ejsmont et al., 2020) a soutenu que les Big Data et l'analyse permettent de lisser les flux de travail de la VSM et de faciliter la résolution des problèmes des parties prenantes. Cette affirmation est justifiée par la relation étroite entre les technologies Big Data et les anciens outils Lean présentés dans la figure 1 et le tableau 4. Le Lean et le Big Data sont donc nécessaires ensemble mais doivent être basés sur l'écoute des clients et l'anticipation de leurs besoins car, avec le Big Data, des tendances nouvelles et inexplorées seront identifiées et des solutions à ces besoins seront développées, pour créer de la qualité et de la valeur. Ceci est important car il est également lié à un niveau de traçabilité de la production plus élevé que dans le Lean (Malavasi & Schenetti, 2017).

De même, le Cyber Physics System (CPS) est accepté par de nombreux auteurs comme une technologie qui peut être utilisée efficacement pour améliorer la plupart des outils Lean. Le CPS est lié aux outils Lean suivants : Travail standard,

amélioration continue, Andon, Heijunka, production à la chaîne, Jidoka Kanban, Jit, Supermarché, résolution de problèmes, KPI, amélioration de la communication et du partage d'informations, réduction des opérations et du temps d'attente, réduction des stocks, flexibilité accrue, contrôle statistique des processus et Poka Yoke. Il fournit des informations en temps réel qui peuvent être utilisées pour garantir un retour d'information immédiat sur les performances visuelles (KPI : Key Performance Indicators) et pour assurer la transparence et améliorer la communication entre les acteurs de la production.

Actuellement, l'automatisation de la production allégée (Jidoka) utilisant des systèmes cyberphysiques (CPS) est considérée comme une approche rentable et efficace pour améliorer la flexibilité du système dans des conditions économiques mondiales de plus en plus difficiles. C'est la raison d'être de l'automatisation intelligente de la production allégée basée sur les technologies CPS (SLAE-CPS), qui est également basée sur l'analyse de Jidoka et la capacité intelligente des technologies CPS (Ma et al., 2017).

Un autre exemple de la méthode Lean 4.0 est basé sur l'application des technologies TIC avancées dans la méthode Kanban (Kanban électronique) (Kolberg et al., 2017). Dans leurs travaux, Ejsmont et al. ont fait valoir que le CPS favorise le partage d'informations entre les clients, les fabricants et les fournisseurs (en réduisant) les délais et en répondant aux plaintes des clients, en suivant le statut des détails (taux d'avancement) et en suivant la quantité et la localisation en temps réel, ainsi que la communication avec les machines (Ejsmont & Gładysz, 2020). En outre, il permet d'utiliser facilement les systèmes Andon et e-Kanban ainsi que d'autres techniques de contrôle des flux de production. Enfin, le SCP est capable de collecter des données en temps réel sur les besoins de service et d'envoyer automatiquement des signaux au service (par exemple des notifications automatiques) des machines lorsque des erreurs ou des défauts sont détectés (Ejsmont et al., 2020).

De plus, les auteurs (Dombrowski et al., 2017; Kolberg et al., 2017; Kolberg & Zühlke, 2015; Malavasi & Schenetti, 2017; Satoglu et al., 2018a; G. Tortorella et al., 2020; Wagner et al., 2017) ont affirmé que les technologies de capteurs sont en corrélation efficace avec les outils du Lean Management. Ces outils sont : Gestion de la chaîne

de valeur (VSM), Andon, Heijunka, Jidoka, Kanban, supermarché Just in Time (JIT), autonomisation et implication des travailleurs, gestion de la production totale (TPM), réduction de la mise en œuvre utilisée SMED, CIM, contrôle qualité, 5S, réduction des déchets et Poka Yoke. Les auteurs (Satoglu et al., 2018a) ont démontré que les capteurs aident les employés à enregistrer et à signaler les changements de composants et de dessins techniques. Aussi, ils réduisent le cycle de vie global du projet en utilisant des capteurs qui envoient des signaux au système de planification des ressources de l'entreprise (ERP) afin de permettre une production juste à temps conformément aux exigences du client en fournissant un flux continu de données qui génère une aide active à la décision et des indicateurs clés de performance, et à améliorer le niveau de fiabilité et de traçabilité du processus et l'élimination des déchets (Mrugalska & Wyrwicka, 2017). Une amélioration continue peut également être obtenue en collectant des données sur les lignes de production des machines à l'aide de technologies telles que les actionneurs, les capteurs et la vidéo sans fil, traitées dans le nuage pour éliminer les erreurs, ce qui est l'idée clé du Poka Yoke. Dans le même temps, il permet également d'introduire la méthode d'échange de matrice en une minute dans les lignes de production.

Cependant, la plupart des travaux antérieurs se sont concentrés sur l'utilisation de l'informatique en nuage et des technologies IoT pour gérer l'opération en une seule phase du processus de construction global. Nous pouvons supposer que le Cloud Computing est l'une des technologies de base pour améliorer la visualisation du Lean Management (Dombrowski et al., 2017). À ce jour, peu de travaux de développement ont été réalisés pour la mise en œuvre de la plateforme de gestion intégrée. Dans ce domaine, la mise en œuvre des technologies IoT et Cloud permet d'assurer la configuration, la collecte de données sur les ressources, la mise en œuvre et la flexibilité du système de performance Jidoka (Pereira et al., 2019). La combinaison du Lean Management avec l'Internet des objets et le Cloud permet d'obtenir une chaîne d'approvisionnement globale autonome avec des processus améliorés, une efficacité et un zéro défaut. Le modèle proposé permet l'Internet des objets, soutenu par une communication en réseau entre la production et l'approvisionnement en fournissant des données en temps réel sur les opérations et les machines. En utilisant les

informations disponibles, nous sommes en mesure d'optimiser les processus, de réduire les coûts et de minimiser la consommation de ressources.

De plus, l'introduction de la technologie de l'Internet des objets offre d'énormes possibilités dans le domaine de la fourniture d'informations en temps réel pour l'analyse, de l'élimination du gaspillage et de la nécessité de recourir à des employés (Arcidiacono & Pieroni, 2018). Selon (Pereira et al., 2019), le nuage et l'IoT présentent tous deux un grand potentiel pour les flux de valeur de l'Industrie, en employant des éléments de réflexion sur la conception. Le problème identifié est le manque actuel de traçabilité pour le reporting des processus KPI. Les auteurs de (Rauch, Dallasega, & Matt, 2016) ont fait valoir que l'utilisation combinée de l'IoT et de l'analyse des données dans le nuage peut résoudre ce problème de KPI, afin de fournir des bases de données en temps réel. Un système de gestion appelé MAESTRI a été proposé par Ferrera et al (Ferrera et al., 2017). Il est soutenu par une structure interne de l'IoT pour faciliter la coordination et l'échange de données entre les ateliers, les systèmes et les outils commerciaux, avec un objectif basé sur l'amélioration continue, l'évaluation de la productivité et l'optimisation de l'aide à la décision, en valorisant les déchets, et l'IoT facilite la mise en œuvre de l'ECE (Pereira et al., 2019), (Ejsmont et al., 2020). De plus, les résultats de notre revue de la littérature montrent les interrelations entre les outils de Cloud et de Lean Management : il y a 14 liens. Le Cloud est une autre nouvelle technologie qui a attiré l'attention des Industries, leur permettant de faire plus de choses de manière flexible, rentable et efficace. Les plateformes de Cloud computing sont assez puissantes pour transmettre, gérer et recevoir rapidement des volumes massifs de données, et sont assez intelligentes pour tirer des conclusions significatives à partir de données en temps réel, permettant ainsi une plus grande collaboration avec les fournisseurs pour un meilleur développement de produits (Malavasi & Schenetti, 2017).

Nous avons également la réalité augmentée (AV) et la réalité virtuelle (RV). La RA "est une technologie évolutive par laquelle des informations du monde réel sont intégrées en temps réel dans un contenu informatique traité numériquement" (Malavasi & Schenetti, 2017). Fondamentalement, la réalité augmentée est un moyen de créer une interaction entre le monde en temps réel et un monde généré par ordinateur. D'autre part, la RV peut être décrite comme "un moyen

pour les gens de visualiser, de manipuler et de s'engager avec des données et des ordinateurs très complexes". La RA et la RV peuvent être utilisés en combinaison avec des réseaux CPS fournissant des données en temps réel pour établir une VSM virtuelle. Il s'agit d'une pratique de pointe du Lean Management qui permet à chaque partie prenante de s'immerger dans un modèle virtuel, en surveillant et en cartographiant l'état actuel et futur du processus, sans avoir besoin de comprendre les symboles traditionnels de la VSM (Davies et al., 2017). Les auteurs de (Kolberg & Zühlke, 2015), ont introduit une approche qui implique l'utilisation de dispositifs basés sur la RV et l'AR qui fournissent aux opérateurs des informations sur le temps de cycle à effectuer par l'AR pour soutenir la production JIT. Selon Pfeffer et autres (Pfeffer et al., 2015), les technologies de RV et de RA peuvent accroître la productivité et les performances en fournissant des informations supplémentaires en temps réel. En particulier, ces techniques ont la capacité de fournir un produit à pleine échelle, ce qui améliore le processus de développement et le rend plus intuitif. En outre, ces technologies permettent de visualiser des conditions dangereuses, des scénarios de formation et de service, ce qui peut complètement transformer et changer la manière dont les gens travaillent et interagissent entre eux (Pfeffer et al., 2015). La RA est destinée à améliorer les processus et les conditions de travail, ainsi qu'à permettre une prise de décision plus rapide. La RV et la RA peuvent également être utilisés pour la formation virtuelle des travailleurs. La RV et la RA peuvent aider les employés à maintenir un flux continu de pièces (Malavasi & Schenetti, 2017). De ce point de vue, nous pouvons affirmer que le Lean peut être soutenu par l'utilisation de la RV et de la RA et justifier leur corrélation avec 16 outils Lean.

### Synthèse :

Les résultats de la matrice de la Figure 17 et le Tableau 12 démontrent la présence de plusieurs synergies entre les outils de gestion Lean et les technologies de l'Industrie 4.0. Sur la base de relations bilatérales, les outils de gestion allégée tels que Heijunka, l'amélioration continue, le juste à temps, Jidoka et la gestion des déchets sont ceux qui bénéficient le plus de la mise en œuvre d'Industrie 4.0. tel que : le Big Data, Cps, Cloud, et Sensors offrent le meilleur support pour les outils LM comme c'est présenté dans la Figure 18. Par conséquent, la combinaison du Lean Management et d'Industrie 4.0 apportera une valeur ajoutée significative à une entreprise.

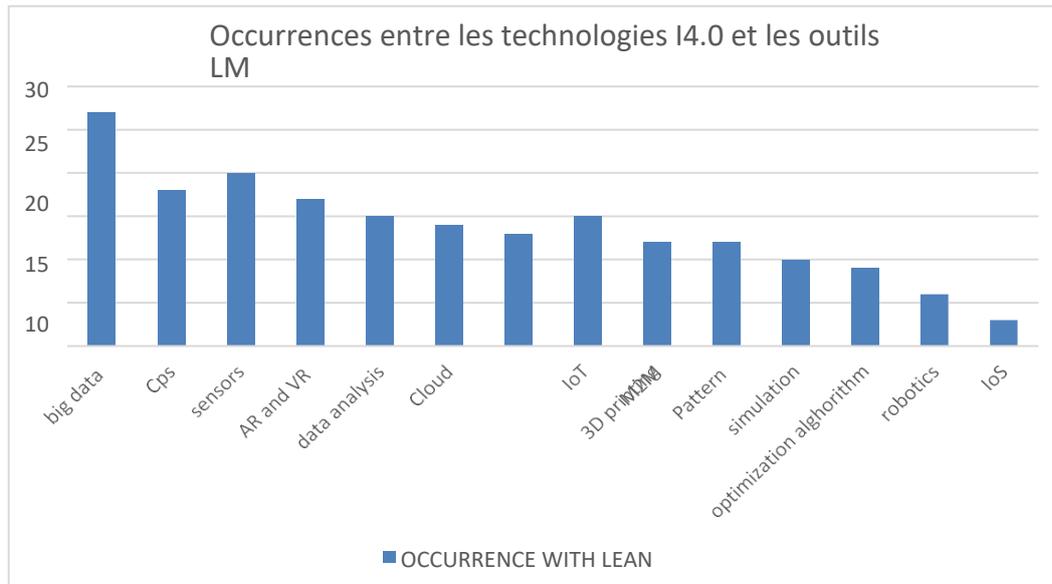


Figure 18: Occurrences entre les technologies I4.0 et les outils LM source : traitement de l'auteur.

#### 4.6 Conclusion

À la lumière des résultats obtenus concernant la synergie entre les outils Lean et les technologies de l'Industrie 4.0, il convient de noter que certaines relations sont bien plus étudiées par les auteurs que d'autres. Plusieurs auteurs ont étudié la corrélation entre les Big Data et le Cloud avec la réduction des déchets. Cependant, il existe des outils et des technologies qui n'ont pas été abordés. Les outils les plus courants des technologies permettant la quatrième révolution Industrielle (I4.0) mentionnés dans cette littérature sont le Just-in-Time (JIT), Heijunka, Jidoka, la résolution de problèmes, l'amélioration continue, la réduction des déchets, la facilité de connexion entre les différents acteurs de la production et la TPM. Ces technologies peuvent également réduire les activités sans valeur ajoutée dans les organisations et améliorer la satisfaction des travailleurs et des clients.

Les technologies de chaque outil émergent peuvent offrir des avantages potentiels dans la réalité d'aujourd'hui, mais il est nécessaire d'évaluer soigneusement l'efficacité de la technologie dans chaque cas et contexte, ce résultat plaide en faveur du nouveau paradigme comparatif de l'Industrie 4.0. Toutefois, il indique également la nécessité de poursuivre les travaux sur l'utilisation des technologies de l'Industrie 4.0 pour de

nouvelles synergies. Cela permettrait d'obtenir des informations telles que : combien d'auteurs travaillent sur un sujet spécifique, quels pays et institutions sont impliqués, etc. représentés par des scientifiques, quelle est la relation entre les auteurs, les mots clés dans le domaine, etc.

Une autre perspective de recherche serait d'explorer davantage les technologies et les outils de l'Industrie 4.0 et d'impliquer les possibilités d'amélioration sur un pilier tel que le développement durable, qui est l'une des perspectives les plus importantes, renforçant ainsi le Lean écologique 4.0 dans les organisations comme facteur de performance. Par conséquent, il est suggéré de se concentrer sur la manière de réaliser une synergie entre les deux concepts Lean et Industrie 4.0 dans un cadre écologique. En ce qui concerne les outils Lean les plus liés à l'Industrie, nous avons les TIC car l'ingénierie intégrée utilisant des méthodes modernes de virtualisation et de communication promet un potentiel d'optimisation important. Il sera de moins en moins important de déterminer quel processus est exécuté dans telle ou telle usine, car toutes les entités participantes peuvent accéder à des informations en temps réel et la surveillance est répartie au niveau de l'atelier. En outre, la compétitivité de l'entreprise sera renforcée par l'amélioration de la flexibilité et de l'efficacité de la production grâce à la communication, l'information et l'intelligence. Cela implique l'interconnexion de plusieurs éléments afin que les organisations créent des réseaux intelligents le long de la chaîne de valeur qui peuvent être contrôlés de manière autonome.

## CHAPITRE V : LA MATURITE DU LEAN 4.0

### 5.1 *Introduction*

Dans ce chapitre, l'examen critique couvre le concept de maturité, l'origine des Modèles de Maturité (MM) et l'évaluation de la maturité des processus. L'examen couvre également les niveaux de maturité, les types de MM, et une évaluation des tentatives de Lean 4.0 ; les évaluations de maturité et les MM sont pertinents pour cette étude en vue de mesurer la maturité des entreprises de construction pour faciliter le déploiement du Lean 4.0. Sur la base des journaux disponibles, manuels et rapports gouvernementaux, ce chapitre fournit un aperçu théorique complet du contexte de l'état actuel des connaissances relatives à cette recherche. L'objectif principal est. En outre, ce chapitre permet d'établir une base solide et de fournir le meilleur des outils pour le premier axe de cette recherche qui est l'élaboration d'un modèle de maturité du Lean 4.0.

### 5.2 *Définition*

Du point de vue du management, la maturité est la somme des actions (capacité d'agir et de décider), l'attitude (volonté de s'impliquer), et les connaissances (la compréhension de l'impact de la volonté et de l'action) (Andersen & Jessen, 2003). La maturité précise aussi la compréhension des raisons du succès et permet, donc, d'identifier les problèmes courants et les moyens de les corriger ou de les prévenir (Schlichter, 1999). Toutefois, la mesure de la maturité est généralement plus subjective qu'objective (Andersen & Jessen, 2003). Le concept de maturité a néanmoins reçu une large attention de la part des universitaires dans de nombreux domaines (A. M. Maier, Moultrie, & Clarkson, 2011). Il est surtout utilisé dans l'Industrie du logiciel et l'ingénierie, mais il est également utilisé dans d'autres Industries et disciplines comme le Management de Projet (PM) (Terence J Cooke-Davies & Arzymanow, 2003).

La maturité est un concept largement utilisé dans différents contextes de gestion, comme dans la maturité des entreprises, la maturité du projet, et la maturité du processus. La combinaison d'une orientation vers les processus avec le concept de maturité décrit la capacité à fournir des performances élevées (Hammer 2007). La maturité des processus trouve ses racines dans le mouvement TQM, qui identifie un processus "mature" comme un autre avec des performances accrues grâce à la cohérence de la mise en œuvre des processus (T J Cooke-Davies, Schlichter, & Bredillet, 2001).

Selon Becker, Knackstedt et Pöppelbuß (J. Becker, Knackstedt, & Pöppelbuß, 2009), les modèles de maturité sont des "modèles qui servent à résoudre les problèmes en déterminant le statut actuel des capacités d'une entreprise et en déduisant des mesures pour l'améliorer".

L'évaluation de la maturité d'une organisation comporte un élément important de subjectivité (Andersen & Jessen, 2003). Le recours au MM permet toutefois d'introduire un certain degré d'objectivité dans le processus d'évaluation (Richardson, 2010). Pour une compréhension claire, il est toutefois important de faire la distinction entre les termes "modèle" et "cadre".

Veldman et Klingenberg (2009) suggèrent qu'un cadre avec un objectif de maturité peut être compris comme un ensemble de règles et de lignes directrices qui pourraient être appliquées à la réalité. Ceci est cohérent avec la politique de l'UE de (1998), qui nous rappelle qu'un cadre est une référence à laquelle on peut se référer.

Pour décrire le terme "modèle" du point de vue du MM, il est nécessaire d'utiliser une analyse scientifique pour examiner les "modèles", car il faut reconnaître que le terme est largement utilisé par les philosophes de la science (Aris & Penn, 1980). Dans ce contexte, les modèles ont toujours été très importants (Frigg & Hartmann, 2006). Par conséquent, le "point de vue scientifique" d'Apostel (1960, p. 160) est combiné avec une seconde analyse dans une perspective de MM (Team, 2010).

Ainsi, plusieurs articles ont évalué l'adaptabilité et la maturité utilisées dans plusieurs domaines. La maturité est "l'état d'être complet, parfait ou prêt" (Kolla, Minufekr, & Plapper, 2019). En général, l'évaluation de la maturité ou les modèles de maturité peuvent être appliqués comme un outil efficace pour évaluer la capacité d'un processus ou d'une organisation (McSweeney, 2015). L'évolution vers la maturité peut être décrite sur la base d'un modèle de maturité virtuel caractérisé par l'utilisation d'une échelle d'étapes croissantes, c'est-à-dire de niveaux de maturité.

La maturité permet à l'entreprise de se positionner en définissant l'étape qui caractérise le mieux sa situation actuelle. En fonction de ses objectifs et de ses besoins, l'entreprise peut évaluer un niveau de maturité souhaité et entamer le processus pour l'atteindre. Le modèle de maturité permet donc d'encadrer les capacités à acquérir pour

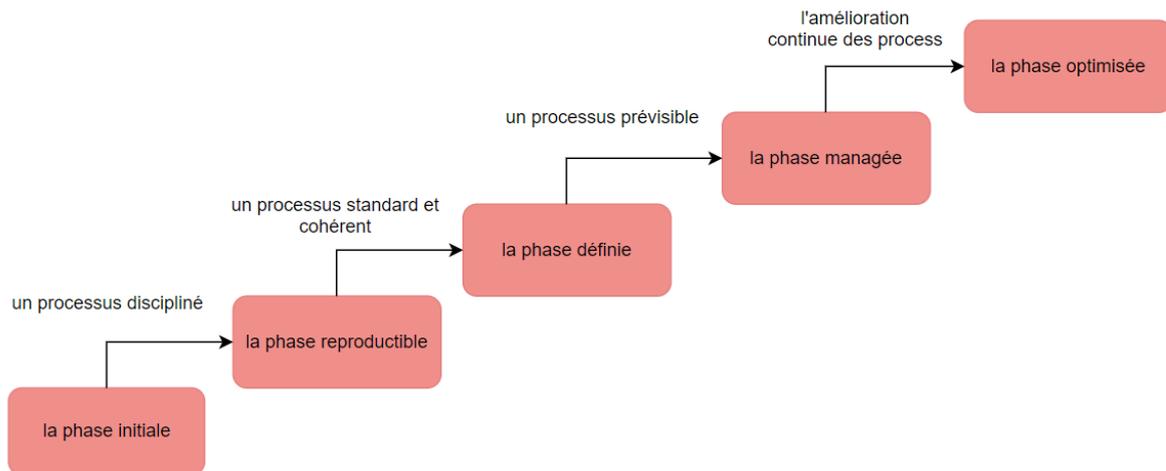
atteindre le niveau souhaité. À ce jour, il existe de nombreux modèles de maturité utilisés dans les domaines du développement de logiciels, de la gestion, de l'ingénierie, de l'innovation, ... etc.

### 5.3 *L'origine de la maturité*

Le ministère américain de la défense a financé le développement du modèle de maturité des capacités « *Capability Maturity Model (CMM)* » pour la sécurité informatique. A l'époque, les défaillances des projets informatiques étaient récurrentes et leur aboutissement dépendait de la Qualité de la gestion du projet. Le modèle de maturation préconise donc la connaissance des "Key Process Areas (KPA)", à savoir une série de capacités de gestion de processus particulières pour atteindre un niveau de complexité déterminé. Une fois ces capacités acquises et capitalisées, la société est apte à franchir ce niveau de maturité. Il est clair qu'elle devra accumuler des compétences supérieures ou améliorer ses propres aptitudes de gestion afin d'atteindre le niveau suivant (Team, 2002). Le type de ce modèle est donc cumulatif.

### 5.4 *Les niveaux de la maturité*

Le concept fondamental du MM est que toutes les méthodes, pratiques, activités et les transformations utilisées pour développer des logiciels et des produits sont définis et par conséquent mis en œuvre lorsque l'organisation arrive à sa maturité (Kwak & Ibbs, 2002). La maturation des processus est obtenue grâce aux normes, à l'infrastructure organisationnelle et à la culture qui soutient les personnes et leurs activités, méthodes et pratiques (ibid.). Le MM fournit un cadre pour guider, contrôler et maintenir les processus de l'organisation et développe une culture d'excellence avec un certain nombre de pratiques recommandées dans des domaines clés (Paulk, 2009). Pour y parvenir, il convient de déterminer la maturité actuelle du processus et les questions critiques qui doivent être traitées au cours des phases d'évolution définies par les cinq niveaux de maturité comme le montre (Figure 19) (Curtis & Weber, 1995).



*Figure 19: Niveaux de maturité, adoptés à partir de Paulk et al. (1995)*

Les cinq niveaux de maturité : (1) Initial, (2) Répétable, (3) Défini, (4) Géré, et (5) Optimisé, fournissent progressivement les bases du prochain niveau supérieur de représentation d'amélioration évolutive (Humphrey, 1993). Ces niveaux sont basés sur le mouvement de la qualité des produits décrit par Shewart, Deming, Juran et Crosby (T J Cooke-Davies et al., 2001).

Par conséquent, un niveau de maturité est mieux décrit comme "un plateau évolutif bien défini vers l'obtention d'un processus de logiciel mature" (Curtis & Weber, 1995).

Les niveaux de maturité illustrent la structure globale du MM caractérisée par des activités et la manière de se comporter (Curtis & Weber, 1995). Comme l'affirme Paulk, niveau 1, la capacité est une caractéristique des individus et non des organisations" (Paulk, Curtis, Chrissis, & Weber, 1993). Le niveau 1 n'est décrit que de manière ponctuelle, parfois même chaotique, et le succès d'une organisation de niveau 1 repose sur l'effort et l'engagement des individus. Les niveaux 2 à 5 sont décrits à travers 18 domaines de processus clés qui indiquent ce qu'une organisation doit améliorer dans pour passer du niveau de maturité n à n+1 (Paulk, 2009). Le [Tableau 13](#) ci-dessous illustre les principaux domaines de processus des cinq niveaux de maturité (Curtis & Weber, 1995).

Tableau 12 : Processus clé des domaines. Source :(Paulk, 1995).

Niveau de maturité	Processus clé des domaines	objectifs
Optimisé	Prévention des défauts. Gestion du changement technologique. La gestion des changements de processus.	Amélioration continue des Processus
Géré	La gestion du processus quantitative. Gestion de la qualité des logiciels.	Gestion quantitative
Définie	Processus d'organisation. Définition du processus d'organisation. Programme de formation. Gestion intégrée des logiciels. Coordination de l'intergroupe. Les évaluations par les pairs.	Amélioration des processus
Répétable	Gestion des exigences. Planification de projets logiciels. Suivi et contrôle des projets logiciels. Gestion des contrats de sous-traitance de logiciels. Assurance de la qualité des logiciels. Gestion de la configuration des logiciels.	Gestion de projet
Initial	Non existant.	

### 5.5 Les types des modèles de maturité

La section suivante examine les types et les dimensions utilisées dans les modèles de maturité pour les exploiter plus tard dans la conception de la structure de notre questionnaire, et notre modèle de maturité. Le type de modèles de maturité peut être choisi en fonction des objectifs de la création du modèle. Le tableau ci-dessous résume les types de modèles par rapport à leurs dimensions et un exemple de modèles existants (Tableau 14). L'objectif du modèle de maturité est polyvalent, mais l'application du modèle comporte trois objectifs spécifiques : descriptifs, comparatifs et prescriptifs (Pöppelbuß & Röglinger, 2011).

Les objectifs ne sont pas exclusifs les uns des autres, car il est courant qu'un modèle ait plusieurs objectifs :

- ✚ Objectif descriptif : le modèle est appliqué comme un outil de diagnostic, déterminant les capacités actuelles de l'organisation (J. Becker et al., 2009). Cet objectif est décrit comme l'évaluation "en l'état" en raison du fait que le niveau de maturité attribué représente les capacités.

- ✚ Objectif comparatif : un modèle comparatif permet aux organisations de comparer leurs résultats dans l'ensemble de leur secteur afin de trouver et de comparer les meilleures pratiques (Pöppelbuß & Röglinger, 2011).
- ✚ Objectif prescriptif : le modèle fournit des indications sur la manière dont une organisation peut atteindre un niveau de maturité plus élevé que son niveau actuel, servant de feuille de route pour l'amélioration (De Bruin, Rosemann, Freeze, & Kaulkarni, 2005).
- ✚ Objectif normatif du modèle, décrit comme un "à être", est de l'évaluation, concerne sa capacité à identifier les niveaux de maturité supérieurs souhaités et à fournir des lignes directrices sur la manière de s'y rendre (J. Becker et al., 2009).

Ce qui nous amène à définir les MM pour ce travail comme :

Un système A, qui est utilisé par une organisation afin d'obtenir des informations sur la maturité et la capacité concernant un sujet, grâce à une organisation (visionnaire) mature (système B), en relation avec les 5 niveaux de maturité. La revue de la littérature dans ce chapitre a révélé quelques thèmes qui justifient cette recherche. Il est ainsi devenu évident que le Lean 4.0 est de plus en plus la stratégie d'amélioration du choix appliquée pour les organisations et la construction dans l'Industrie ; il est cependant apparu que la transition nécessite un changement et une réflexion à long terme.

La revue de la littérature dans ce chapitre a révélé quelques thèmes qui justifient cette recherche. Ainsi, il est apparu clairement que le Lean 4.0 est de plus en plus la stratégie de choix pour améliorer le choix appliqué aux organisations et à la construction dans l'Industrie ; il est cependant apparu que la transition nécessite un changement et une réflexion à long terme.

Par ailleurs, les résultats de la littérature montrent l'absence d'une organisation d'évaluation pour mesurer où en est une organisation dans sa transformation de Lean 4.0 par rapport aux 09 dimensions organisationnelles : stratégie, personnes, leadership, produits, opérations, culture, customers (clients), gouvernance, technologies étudiées par Schumacher et al. (Schumacher et al., 2016)

Tableau 13: La littérature des types de modèles de maturité. Source : auteurs.

<i>Les types du MM :</i>	<i>Auteurs :</i>	<i>Dimensions :</i>
QMMG	(Fraser, Moultrie, & Gregory, 2002)	Il décrit, en une courte phrase, le comportement typique d'une entreprise à 5 niveaux de "maturité", pour ce qui concerne chacun des six aspects de la gestion de la qualité.
ISO 9004	(Fraser et al., 2002)	Le questionnaire a été établi selon l'échelle de Likert : une évaluation de la situation actuelle des entreprises dans un certain contexte.
KMMM	(C. Lin, Wu, & Yen, 2012)	Le Knowledge Navigator Model (KNM) proposé par Hsieh et al. peut donc être utilisé pour mesurer le KMM d'une entreprise en fonction de ses 3 dimensions : la culture, son processus de connaissance et la technologie.
IMPULS,VDMA	(Lichtblau et al., 2015; Monostori, 2014)	Évaluation en 6 dimensions (stratégie et organisation, usine intelligente, opérations intelligentes, produits intelligents, services axés sur les données et employés) avec 18 composantes à indiquer dans 5 niveaux de préparation
BMW, IHK.	(Borgmeier, Grohmann, & Gross, 2017),	Ces outils englobent environ cinq dimensions de l'Industrie 4.0, en examinant l'état de préparation de la stratégie, de la culture, des produits, des processus et des personnes, de l'organisation et des éléments techniques.
The Connected Enterprise Maturity Model (2014)	(Rong & Automation, 2014)	Le modèle de maturité dans le cadre du processus en cinq étapes de mise en œuvre d'Industrie 4.0 ; évaluation technologique en six dimensions : amélioration des processus, gestion de la chaîne d'approvisionnement, innovation axée sur le client, gestion du capital humain, durabilité, engagement mondial.
Industry 4.0 maturity model	(Bibby & Dehe, 2018)	un modèle de maturité dans le cadre du processus en 5 étapes pour la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 ; évaluation quadrimensionnelle axée sur la technologie : Usine du futur, Stratégie, Personnes et Culture.
Industry 4.0 maturity model for manufacturing entreprise	(Schumacher, Nemeth, & Sihm, 2019)	ils ont appliqué 65 éléments de maturité, et les ont regroupés en 8 dimensions de maturité : la technologie, la stratégie et le leadership, produits, employés, clients et partenaires, processus de création de valeurs, données et informations, normes d'entreprise.

<i>Les types du MM :</i>	<i>Auteurs :</i>	<i>Dimensions :</i>
Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment	(Schrauf, 2016)	Évaluation en ligne dans 6 dimensions ; accent mis sur la capacité numérique dans 4 niveaux ; demande en tant qu'instrument consultatif pour un droit de candidature dans 3 dimensions.
Deriving essential components of Lean and industry 4.0-assessment model for manufacturing SMEs.	(Kolla et al., 2019)	ils ont présenté les outils du Lean et l'Industrie 4.0 des caractéristiques des PME manufacturières et leurs 09 dimensions de perspective: produits, stratégie, technologie, clients, opérations, leadership, fournisseurs, culture et employés.
A maturity model for industry assessment 4.0 readiness and maturity of manufacturing companies.	(Schumacher et al., 2016)	modèle proposé comprend un total de 62 éléments de maturité qui sont regroupés en neuf dimensions d'entreprise : stratégie, people, leadership, produits, opérations, culture, customers (clients), gouvernance, technologies.
"SIMMI" (System Integration Maturity Model for Industry 4.0).	(Leyh, Bley, Schäffer, & Forstenhäusler, 2016)	ils ont présenté 04 dimensions du développement de SIMMI 4.0 basées sur les exigences : Intégration verticale, Intégration horizontale, Développement de produits numériques, Critères technologiques transversaux,
LESAT : Lean Self-Enterprise - Assessment Tool.	(Tool, 2001)	LESAT a présenté les trois principales dimensions d'une organisation Lean: transformation/leadership, processus du cycle de vie et activation des infrastructures des processus structurels et les pratiquer dans 54 entreprises Lean.
The process audit : CMMI.	(Hammer, 2007)	Ils ont analysé la maturité d'un processus d'entreprise en mesurant le niveau de maturité de 9 dimensions: conception, performances, propriétaire, infrastructure, métriques, leadership, culture, expertise, gouvernance.

En plus, le soutien pour atteindre une plus grande maturité est limité. De manière générale, nous pouvons déduire que :

- ❖ Le Lean 4.0 est une philosophie de gestion qui peut apporter plus de valeur au client final avec moins de tout ;
- ❖ Les recherches récentes ont démontré que l'Industrie de la construction, peut accroître les performances organisationnelles.
- ❖ Le Lean 4.0 fait l'objet d'une attention globale, ce qui se traduit par une base théorique accrue. L'utilisation efficace du Lean 4.0 nécessite plusieurs études pour réaliser la transformation, mais le soutien à une telle transformation est limité, bien que des évaluations de la maturité organisationnelle puissent y parvenir. L'évaluation des avantages générés par la maturité peut inclure, notamment : la connaissance de l'état actuel de maturité, l'identification des faiblesses et des forces, la fourniture d'informations critiques pour hiérarchiser les efforts d'amélioration et la planification de la manière d'atteindre l'état de maturité souhaité, l'établissement d'un langage commun (Lean 4.0 MM), des processus d'intégration et des approches de gestion, la mise en œuvre d'une stratégie de changement ou d'amélioration de manière organisée.
- ❖ Le concept de maturité et de MM a été négligé dans une perspective du Lean 4.0. Les MM les plus courants partagent 09 dimensions communes qui sont différentes pour identifier les tentatives actuelles d'évaluation organisationnelle du Lean 4.0, sa mise en œuvre, bien qu'il existe des liens entre la production Lean 4.0 et les MM, ainsi que des exemples pratiques d'évaluation de la maturité au sein du Lean et de l'Industrie 4.0, mais peuvent être séparés car quelques articles ont traité ensemble de la maturité Lean 4.0.
- ❖ Enfin, il est nécessaire d'explorer le phénomène de la "maturité du Lean 4.0" et une synthèse vers un MM pour le Lean 4.0 afin d'améliorer le succès de la transformation vers une plus grande maturité du Lean 4.0.

En effet, le concept de maturité et les MM peut répondre à ce besoin et même davantage, car il a prouvé son applicabilité dans la production Lean et dans l'Industrie 4.0, où il a apporté un certain nombre d'avantages. Par conséquent, proposer le premier accord pour la maturité du Lean 4.0 d'une manière approfondie et en termes de 09 dimensions organisationnelles et un cadre pour un MM pour Lean 4.0 qui intègre la capacité à fournir les informations critiques nécessaires, devient un effort de recherche justifié.

Néanmoins, la revue de la littérature a permis de développer un modèle de maturité et de le qualifier en l'évaluant auprès d'un échantillon d'entreprises dans le cas d'une crise telle que le Covid-1, et dans le cas normal. La quantification du modèle permettra de lui donner un but comparatif, car les entreprises pourront comparer leur maturité avec celle de leurs concurrents dans le secteur. Les résultats de benchmarking pourraient à leur tour être utilisées pour prescrire comment les entreprises peuvent améliorer leur maturité Lean 4.0 par rapport aux dimensions organisationnelles 09: (stratégie, leadership, opérations, production, culture, employées, gouvernance, client, et technologies), tirées des modèles présentés ([Tableau 15](#)) ci-dessus.

### **5.6 Le développement d'un modèle de maturité de Lean 4.0**

En dépit de la réalisation d'un modèle pour une application pratique facile dans les entreprises, une modération externe par un expert et une connaissance globale du Lean 4.0 sont nécessaires pour suivre les étapes du modèle et harmoniser les différents points de vue tout au long du processus.(Malavasi & Schenetti, 2017).

Les recherches menées dans le domaine du Lean 4.0 ne traitent et ne concrétisent pas, comme indiqué précédemment, les liens entre le Lean et l'Industrie 4.0 par le biais des 3 classes notamment les activités, les modèles organisationnels et les participants. Afin de parvenir à une compréhension commune de ces liens, cette section propose un méta modèle servant de référence pour montrer l'interrelation entre ces trois classes, et qui englobent à leurs tours les 9 dimensions organisationnelles ([Tableau 15](#)), en utilisant un diagramme de classe UML. De ce fait, nous avons conçu le modèle Lean 4.0 ([Figure 20](#)).

Le choix de l'UML (Unified Modeling Language) est très efficace pour la représentation du méta-modèle. UML : un langage graphique pour la modélisation orientée objet, qui se caractérise par : la simplicité d'utilisation, la modularité des différents types de modèles et surtout l'adaptabilité et l'utilisabilité des modèles dans plusieurs domaines.(Meski, Laroche, Belkadi, & Furet, 2019). Ce diagramme de classe « UML » et les différentes classes et attributs du composant forment un modèle statique d'un référentiel de maturité du Lean 4.0. En vue de le mettre en pratique, un certain nombre de règles d'utilisation ont été spécifiées pour réaliser les différentes itérations d'un point de vue dynamique. La stratégie de développement utilisée repose sur l'utilisation d'un méta-modèle

standard auquel nous ajoutons différents niveaux de précision au fur et à mesure. Le principe consiste à fusionner les trois classes les plus importantes :

- ❖ La 1<sup>ère</sup> classe (participant) : Les humains ont un rôle très important à jouer dans le contexte du Lean 4.0 en général. Pour souligner ce rôle humain, la classe « participant » a été développée, elle est composée des parties externes, et des participants internes.
- ❖ La 2<sup>ème</sup> classe de ce méta modèle organisationnel que l'on retrouve dans notre cas : le modèle organisationnel. Il s'agit d'un processus stratégique composé de 4 attributs : la stratégie, la culture, le Leadership, et la gouvernance selon le modèle proposé par Brown et al (Brown, 2008).
  - ✓ Le premier attribut de cet élément est la stratégie, qui est formellement instituée dans une organisation par une logique soigneusement planifiée et ne peut être laissée au hasard ;
  - ✓ Le deuxième attribut est le développement et l'inclusion d'une gestion de projet qui soutienne la culture organisationnelle, c'est-à-dire la façon de faire des affaires et de conduire une bonne gestion du changement vers le Lean 4.0 dans une entreprise ;
  - ✓ Le troisième attribut est le Leadership, qui consiste à classer l'organisation en fonction de son étendue, de sa complexité et de sa flexibilité afin de faire correspondre les systèmes de gestion et d'organisation, de leadership et de prise de décision appropriés aux besoins ;
  - ✓ Le dernier attribut est la gouvernance, qui présente d'une certaine manière les règles de travail pour le déploiement du Lean 4.0, et l'adéquation des normes technologiques.
- ❖ La 3<sup>ème</sup> classe de notre méta modèle du Lean 4.0 est la technologie : il fournit une base de référence indépendante de la technologie pour le déploiement futur du Lean 4.0 au sein des organisations (Schumacher et al., 2019). Pour ce faire, les classes sont représentées par trois couleurs (rose, bleu et orange) correspondant respectivement aux dimensions de l'organisation, du participant et des technologies Lean 4.0 MM.

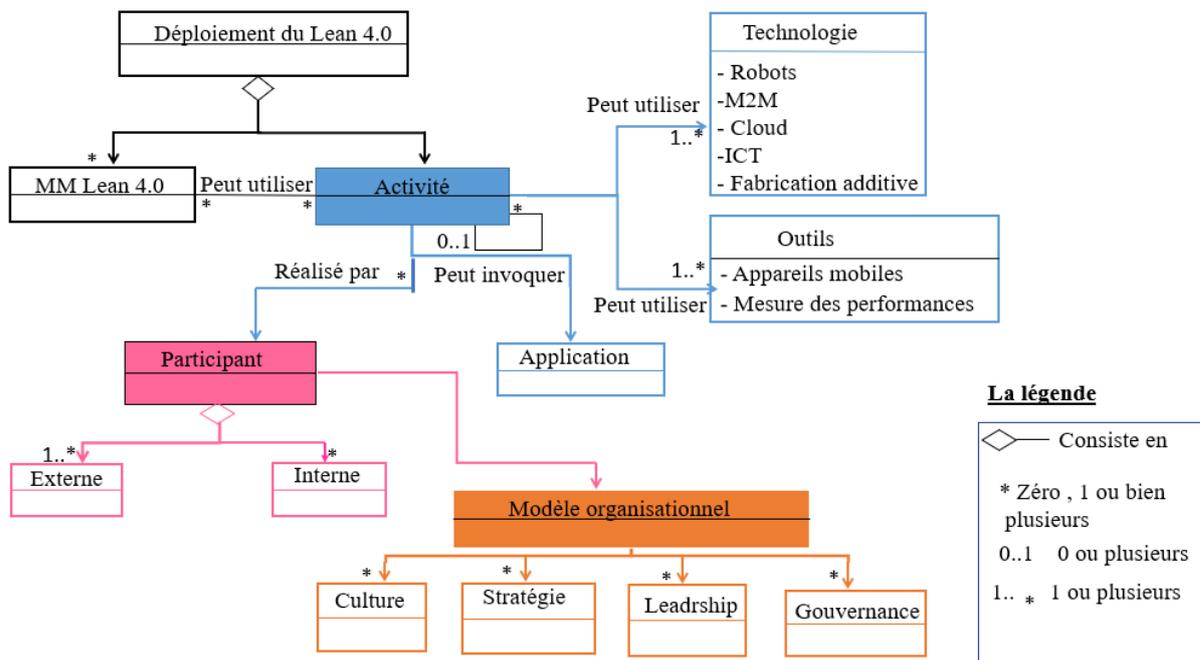


Figure 20:Le diagramme d'UML de déploiement de maturité Lean 4.0. Source : contribution des auteurs, 2020

### 5.6.1 Le déploiement du Lean 4.0

Le principal objectif est de développer l'orientation technologique des nouveaux modèles afin d'y inclure des aspects organisationnels. Globalement, pour évaluer la maturité du Lean 4.0, nous avons défini 9 dimensions et les avons assignées (Tableau 15) et (Figure 21). Les dimensions "Produits", "Clients", "Opérations" et "Technologie" ont été créés pour estimer les facteurs de base. En outre, les dimensions "Stratégie", "Leadership", "Gouvernance", "Culture" et "Personnel" ont permis également aux aspects organisationnels d'être inclus dans l'évaluation. Le modèle a ensuite été transformé en un outil pratique et testé dans plusieurs entreprises, un cas étant présenté dans le document. Les premières validations de la structure et du contenu du modèle montrent que celui-ci est transparent et facile à utiliser et qu'il a prouvé son applicabilité dans la production réelle d'environnements (Schumacher et al., 2016). Par l'insertion de relations logiques entre les 57 outils et technologies de maturité Lean 4.0, selon l'ordre chronologique requis de la littérature du modèle de maturité et la synergie entre les outils et technologies du Lean dans l'Industrie 4.0, un plan de maturité Lean 4.0 a été créé pour faciliter le déploiement du Lean 4.0 en

relation avec les 9 dimensions organisationnelles, et utiliser les résultats de l'évaluation de la maturité de l'entreprise pour développer des parcours spécifiques à l'entreprise et en déduire des domaines d'action spécifiques à l'entreprise. En dernière phase, toutes les méthodes, outils et étapes nécessaires sont formalisés dans le modèle de mise en œuvre du Lean 4.0.

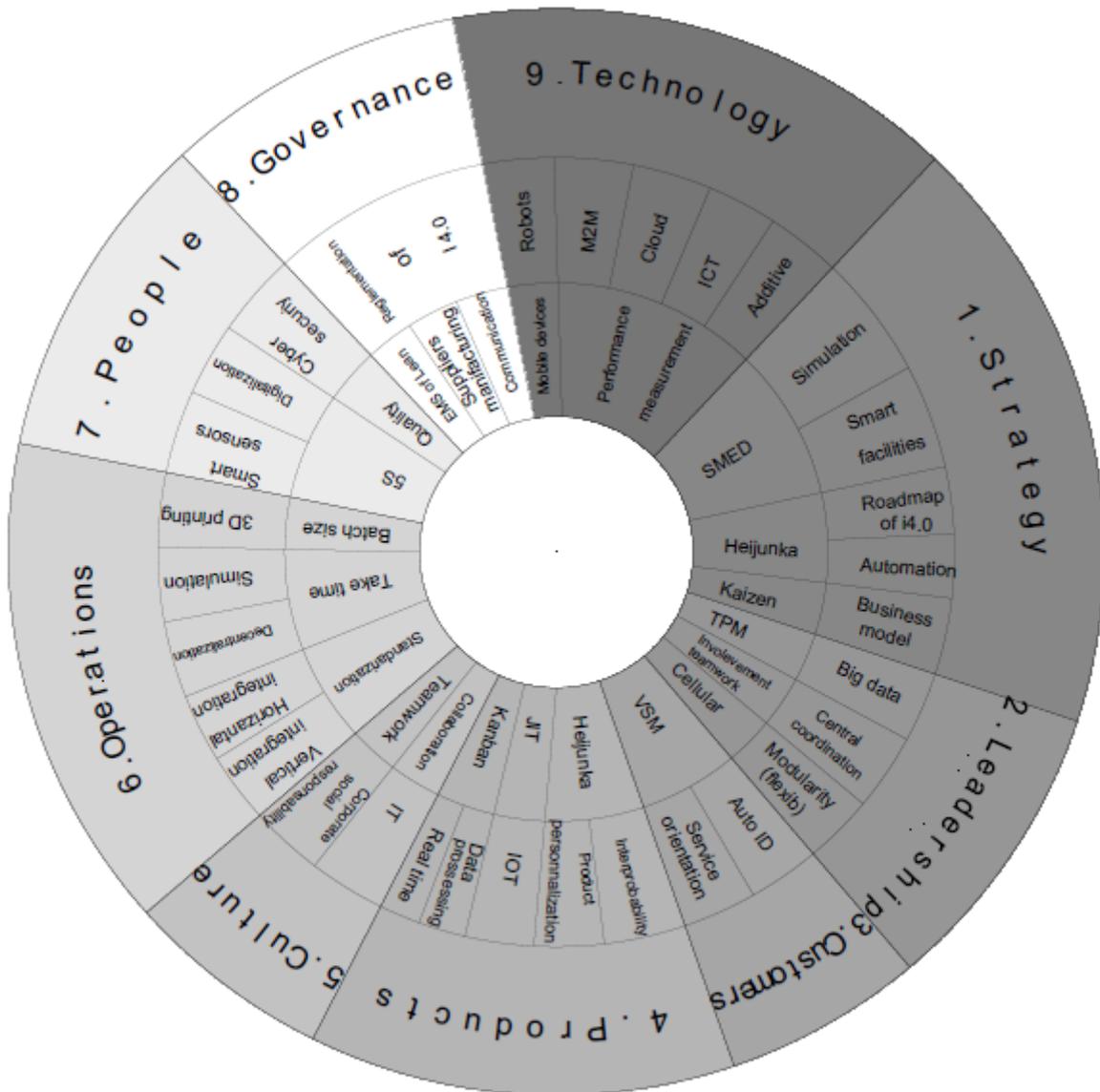


Figure 21: Roadmap du Lean 4.0 par rapport aux 9 dimensions organisationnelles. Source : auteurs.

Tableau 14: La littérature des outils et des technologies du Lean 4.0 par rapport aux 9 dimensions organisationnelles. Source : auteurs.

Dimensions	Références	Lean 4.00 Outils et Technologies	
		4.00 Technologies	Lean outils
Stratégie	(Schumacher et al., 2016), (Kolla et al., 2019), (Schumacher et al., 2019)	-Simulation -Installations intelligentes -Feuille de route de la 4.0 -Automatisation -Modèle d'entreprise	- SMED -Heijunka -KAIZEN
Leadership	(Schumacher et al., 2016), Schumacher et al., 2019), (Kolla et al., 2019)	-De grandes données - Coordination centrale - Modularité (Flexible)	-TPM - Le travail d'équipe - Cellulaire
Client	(Schumacher et al., 2016), (Kolla et al., 2019), (Schumacher et al., 2019)	- Identification automatique - Orientation vers les services	-VSM
Produits	(Schumacher et al., 2016), (Schumacher et al., 2019)	- Inter probabilité - Personnalisation des produits -IOT - Traitement des données - En temps réel	- Heijunka -JIT -Kanban
Culture	(Schumacher et al., 2016), (Schumacher et al., 2019)	-IT - Responsabilité sociale des coproduits	- Collaboration - Travail d'équipe
Opérations	(Schumacher et al., 2016), (Kolla et al., 2019)	- Intégration verticale - Intégration horizontale - Décentralisation -Simulation - Impression 3D	- Normalisation - Prendre du temps - Taille des lots
Employés	(Kolla et al., 2019), (Schumacher et al., 2019)	- Capteurs intelligents - Numérisation - Cyber sécurité	-5S - Qualité
Gouvernance	(Schumacher et al., 2016), (Kolla et al., 2019), (Schumacher et al., 2019)	- Réglementation du 4.0 -EMS 4.0	- EMS de LEAN - Fournisseurs - Communication, La réglementation du Lean
Technologie	(Schumacher et al., 2016), (Kolla et al., 2019), (Schumacher et al., 2019)	- Robots -M2M - Nuage, and ICT	- Appareils mobiles - Mesure des performances

## 5.7 *Conclusion*

Ce chapitre a passé en revue la théorie et la littérature sur le Lean 4.0, le concept de maturité et les MM dans le but d'établir une compréhension globale de l'état actuel des connaissances, identifier les perspectives, les limites et les lacunes qui seront abordées dans le cadre de cette la recherche. La discussion atteste du rôle important du Lean 4.0 pour relever le défi de l'augmentation de la productivité dans l'Industrie. En effet, la mise en œuvre du Lean 4.0 diffère des approches traditionnelles, d'où la nécessité de procéder à des évaluations organisationnelles. Dans de nombreux cas, y compris la construction et le MM, le Lean 4.0 a été utilisé pour de telles évaluations. En outre, les MM offrent un certain nombre d'avantages nécessaires à la transformation vers une plus grande maturité en matière de Lean. Il a donc été souligné que les MM sont considérés comme une réussite pour le Lean 4.0 et le développement d'une plus grande maturité de Lean 4.0. Par conséquent, ce chapitre met en évidence la justification de cette recherche en démontrant les lacunes de nos connaissances sur les MM dans le Lean 4.0 et le phénomène de "maturité de la Lean 4.0"

**METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE**

# CHAPITRE VI :

## METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

### 6.1 Introduction

La philosophie de la recherche, la logique, les choix méthodologiques sont réunis dans ce chapitre dans un cadre de recherche conceptuelle, dans la mesure où il est possible de combiner des constructions/concepts, des définitions et des propositions en rapport avec la question de recherche (Sevilla, 2007). Cette structure comprend l'oignon de recherche modifié de Saunders et al. (Saunders & Lewis, 2012) (Figure 21). Les termes "logique de la recherche" et "approche de la recherche" ont été modifiés par rapport à "l'approche" et aux "stratégies" initiales. En effet, les couches extérieures protègent et influencent le centre en même temps, de sorte que celui-ci ne peut être atteint tant que ces dernières n'ont pas été examinées et pelées.

L'approche de la recherche par couches considère différentes approches qui pourraient être adoptées dans la recherche dont les choix méthodologiques se concentrent sur la distinction entre la recherche qualitative et quantitative. Les deux couches extérieures, la logique appliquée et la philosophie de la recherche, saisissent la différence entre la recherche inductive et déductive, et cette dernière comprend la position philosophique des perspectives de recherche ontologique et épistémologique.

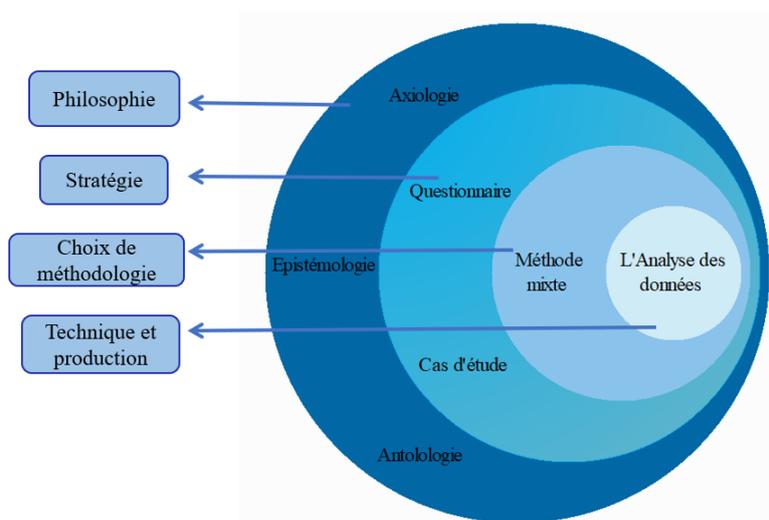


Figure 22:L'oignon de la recherche. Source : Auteurs.

## 6.2 La Philosophie de la recherche

La couche la plus externe de l'oignon décrit la philosophie qui positionne l'ensemble de la recherche et indique quelles sont les connaissances et les processus acceptables pour la développer (Saunders & Lewis, 2012). Il est essentiel d'en tenir compte, et c'est particulièrement vrai dans le cadre de l'environnement (Amaratunga, Baldry, Sarshar, & Newton, 2002). Comme la philosophie sous-tend l'ensemble de la recherche et toutes les couches internes de l'oignon de recherche, cela décrit la façon dont le chercheur voit le monde (Saunders & Lewis, 2012). La Figure 23 montre que la philosophie de la recherche comprend une perspective théorique, qui est éclairée par l'ontologie et l'épistémologie (Crotty & Crotty, 1998).

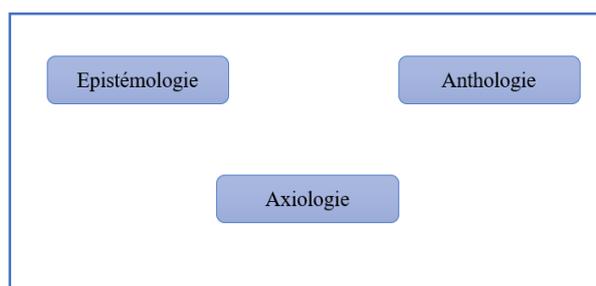


Figure 23: La philosophie de la recherche. Source : adaptée de (Saunders & Lewis, 2012).

### 6.2.1 L'ontologie

L'ontologie est le postulat de base de la réalité de la recherche, faisant référence au monde réel et à ses caractéristiques (Creswell & Poth, 2016) dans la mesure où toute théorie de la connaissance ou épistémologie présuppose une ontologie (Bhaskar, 2013). Le terme ontologie ou ontologia a été créé par le philosophe allemand Jacob Lorhard et Rudolf Goekel en 1613 (Floridi, 2008). Easterby-Smith et al. (2012) décrivent quatre types d'ontologies différentes : (1) le réalisme (le monde est externe et ne comporte qu'une seule vérité), (2) le réalisme interne (il n'y a qu'une seule vérité, mais cette vérité n'est pas directement accessible), (3) le relativisme (la vérité est indépendante du processus de découverte et il existe de nombreuses vérités) et (4) le nominalisme (il n'y a pas de vérité car la réalité est créée par humains). Un autre aspect de l'ontologie est introduit par Saunders et al. (2012), qui se concentrent sur les aspects objectivistes et subjectivistes et affirment que les deux sont tout à

fait adaptés et acceptés pour produire des connaissances valables pour la recherche sur les entreprises et la gestion.

En effet, l'école positiviste croit qu'il y a une seule réalité et qu'elle est extérieure au chercheur. Par conséquent, le chercheur doit être objectif dans la collecte et l'analyse de ses données. L'objectivité est représentée par l'utilisation d'un questionnaire comme moyen de recueillir des données et de les analyser à l'aide de statistiques. Les positivistes sont toujours intéressés par le développement de théories basées sur la vérification d'hypothèses (Bhattacharjee, 2012). Ainsi, les positivistes définissent la théorie comme une relation validée entre des concepts pour expliquer des phénomènes (Sangasubana, 2011).

L'ontologie de la présente recherche accepte une réalité unique, mais en interrogeant des experts, elle cherche à comprendre leur contexte en tenant compte des contrastes entre eux afin de parvenir à un modèle de compréhension unifié. Ce modèle est généralement conforme à la position ontologique des auteurs de théories fondées (Birks & Mills, 2015). Crotty (1998) poursuit souligne que l'ontologie et l'épistémologie émergent ensemble et qu'il est difficile d'en voir une sans l'autre.

### 6.2.2 L'épistémologie

Il existe deux principaux moyens d'acquérir des connaissances (c'est-à-dire deux positions épistémologiques). La première façon construit la réalité dans son contexte et accepte la construction sociale de la réalité parce que le chercheur cherche à comprendre ce qui se passe et à l'interpréter sur la base de son expérience, de ses connaissances et de ses antécédents (A. S. Lee & Hubona, 2009). Cela conduit à la croyance que la subjectivité est inévitable (Rowe, 2018). La deuxième voie est appelée approche positiviste et repose sur l'expérimentation de la réalité. Le test de la réalité sans contact direct entre le chercheur et la connaissance vise à garantir l'objectivité de la recherche (Dixon, Singleton, & Straits, 2016). Les différentes épistémologies ont des implications axiologiques différentes (c'est-à-dire la subjectivité par rapport à l'objectivité).

### 6.2.3 L'axiologie

L'opposition entre "objectivité" et "subjectivité" fait l'objet d'un débat depuis longtemps, car les interprètes estiment que l'objectivité n'existe pas (Walsham, 2006). Les êtres humains comprennent les données et les faits sur la base de leur éducation et de leurs antécédents. Néanmoins, les positivistes estiment que le chercheur doit être objectif et ne doit pas intervenir dans la présentation des données. La meilleure façon d'être objectif est de présenter les données

en chiffres. Cependant, les données verbales et numériques ont leurs propres avantages et inconvénients. D'une part, les acteurs humains ne seront jamais capables d'interpréter les preuves sans utiliser consciemment ou inconsciemment leur expérience et leurs connaissances. Dans ce cas, le chercheur travaille comme consultant et formateur et a une longue expérience dans le Lean 4.0. D'autre part, une trop grande subjectivité peut conduire à l'incapacité de différencier les faits des opinions. L'objectivité doit être recherchée afin de différencier ce que le chercheur sait de son expérience, ce qu'il gagne à interroger des experts et des organisations, et quelles sont les "véritables" causes profondes du problème.

La démarcation entre les faits et les opinions est nécessaire pour mettre en lumière les causes réelles du problème de recherche, qui, dans la présente enquête, est la variation de la maturité du Lean 4.0 dans les organisations. Il serait donc intéressant de combiner les deux axiologies afin de saisir et de comprendre le problème.

### **6.3 *La logique de la recherche***

Il existe deux façons traditionnelles d'élaborer des théories. Premièrement, l'approche déductive cherche à développer une théorie à partir de preuves générales jusqu'à des applications particulières. En d'autres termes, la théorie est élaborée à partir de la littérature et ensuite testée sur une communauté ou une population particulière. Deuxièmement, l'approche inductive cherche à développer la théorie à partir de preuves empiriques (Bell, Bryman, & Harley, 2018). Le principal défaut de l'approche inductive est sa tentative de développer une théorie basée sur de maigres preuves, qui ne peuvent être généralisées puisqu'elles proviennent d'un nombre limité de cas. Cependant, l'approche inductive fonctionne bien avec le paradigme interprétatif (c'est-à-dire la subjectivité, les différentes réalités et la construction sociale de la réalité). Cependant, grâce à l'applicabilité et à la reproductibilité de cette recherche dans d'autres contextes et par rapport à d'autres cas, les résultats peuvent être généralisés.

Ainsi, contrairement à l'approche déductive, qui commence par former un cadre théorique à partir de la littérature, l'approche inductive commence par une approche ouverte et se termine par un cadre. L'objectif du cadre, dans la recherche interprétative, est de schématiser les modèles mentaux des experts et des consultants (Wieringa, 2009). En d'autres termes, pour cartographier les facteurs et leurs interactions pour comprendre la réalité, les chercheurs opérationnalisent les points de vue des experts sous forme de diagrammes (Checkland & Holwell, 1998). Selon les chercheurs en interprétation, un cadre se compose de différents

modèles extraits de la réalité de manière significative et de la mise en évidence d'aspects particuliers pertinents (Sternan, 2002). Une nouvelle approche est actuellement utilisée par les chercheurs modernes, appelée approche adductive (Haig, 2018). Cette approche utilise la littérature pour développer un cadre théorique à partir duquel une méthodologie de recherche et d'analyse peut être élaborée (Dubois & Gadde, 2002). En d'autres termes, la définition d'un cadre est similaire à l'approche hypothético-déductive si elle peut être énoncée comme un ensemble de propositions développées à partir de la littérature (Haig, 2018). Néanmoins, l'enquête sur les données sert simplement à tester le cadre, mais aussi à l'enrichir et à l'élargir (Dubois & Gadde, 2002). C'est le cas de la présente recherche, la littérature est utilisée pour développer des cadres théoriques, aide à conceptualiser de nouveaux concepts, et sert à tester les cadres développés, les concepts opérationnalisés nécessaires. Les lieux, le cas d'étude et les enquêtes suivants enrichissent et élargissent le cadre. La littérature est également utilisée pour critiquer les résultats des enquêtes, d'une part, et les enquêtes et l'étude de cas, d'autre part, pour affirmer ou infirmer nos conclusions tirées de la littérature. Enfin, les hypothèses sont testées de manière quantitative.

Bien que l'approche du développement de la théorie adductive ne puisse prétendre à la généralisation de son cadre parce qu'elle enquête généralement sur les données de quelques cas pour enrichir et améliorer le cadre (Rowe, 2018), cette recherche prétend généraliser par sa façon de tester le cadre, parce qu'elle utilise le paradigme du réalisme critique de manière à mettre en évidence l'utilisation d'une mentalité de réalité unique avec un paradigme positiviste (en utilisant des enquêtes pour tester les hypothèses).

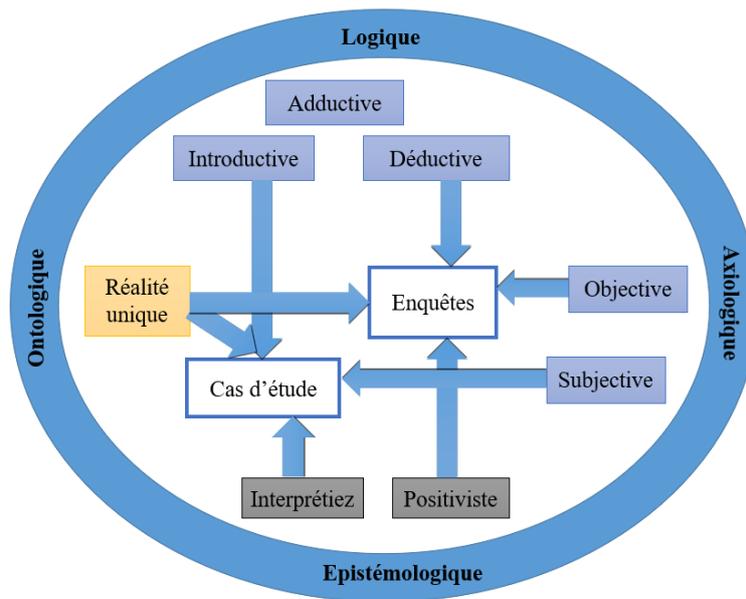


Figure 24: la logique de la recherche. Source : auteurs.

#### 6.4 *Le paradigme de la recherche*

Afin de présenter un travail original. Sur la base de l'état des lieux, les résultats des enquêtes, du cas d'étude et de la littérature, sont utilisés pour développer des hypothèses à tester de manière positiviste. La Figure 25 résume les arguments précédents, le paradigme utilisé dans cette thèse est en effet le constructivisme dans toutes ses significations. Le constructivisme sert à développer une réalité, pour tester et généraliser les résultats (Venkatesh, Thong, & Xu, 2012). Les chercheurs adoptent ainsi une attitude sceptique dans l'acquisition, la validation, la vérification et l'évaluation des connaissances.

#### 6.5 *L'approche de la recherche*

La Figure 2 présente le design de cette recherche que nous avons expliqué dans le chapitre introductif. Les approches de recherche peuvent être classées en études de cas et en études de terrain, en fonction de leur position ontologique ; supposent-elles une réalité unique ou des réalités multiples ? Par ailleurs, les études de cas étudient principalement des cas uniques dans leur contexte afin de comprendre ce qui semble réel pour les personnes qui vivent dans le cas. Les études de cas ne prennent pas seulement les organisations comme unité d'analyse ; les cas peuvent être des individus ou des pays (Yin, 2013). En revanche, les études de terrain sont celles qui visent à généraliser à partir d'un nombre représentatif et relativement important de participants.

Les études de terrain se présentent principalement sous la forme de recherches par enquêtes. Toutefois, elles peuvent également s'appuyer sur des entretiens si l'objectif est de généraliser et si l'on estime que les différences entre les personnes interrogées ne sont pas dues à leur contexte mais aux différentes actions et comportements suivis. On retrouve les mêmes marques en Algérie, en France, en Allemagne, aux pays de Golf. Cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas de différences entre les entreprises des différentes parties du monde. Néanmoins, cette recherche ne s'intéresse pas à l'étude de perspectives culturelles ou sociales particulières mais elle se concentre sur certaines pratiques professionnelles régies par certains instituts professionnels. Ainsi, une seule réalité chez les personnes interrogées est supposée. Trois approches sont utilisées en séquence. L'enquête narrative, c'est-à-dire l'analyse de récits issus de l'expérience d'experts, est utilisée pour enrichir et élargir les cadres de recherche. Les enquêtes sont utilisées pour tester ces cadres. Des études de cas sont utilisées pour valider les résultats de la recherche.

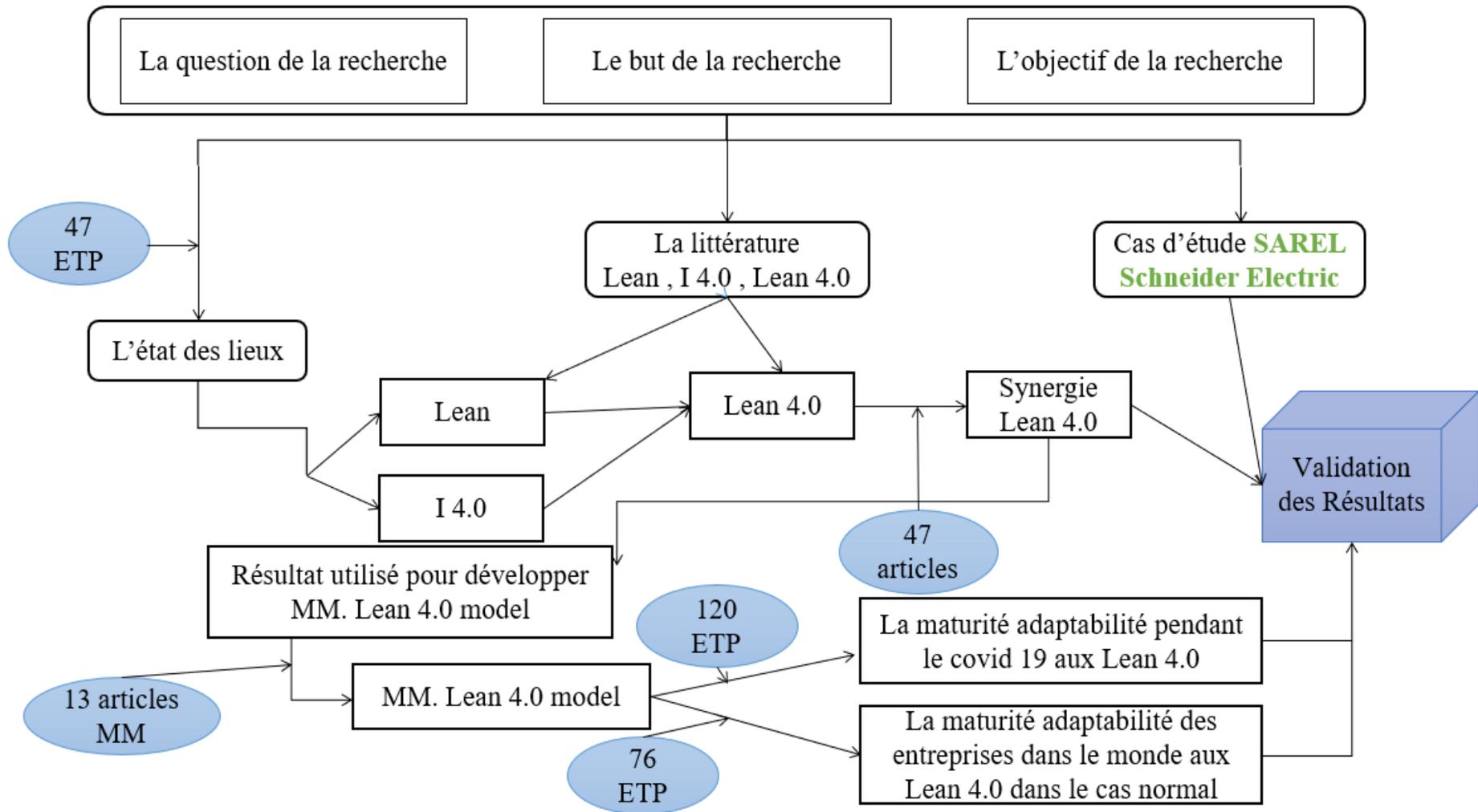


Figure 25: le design de la recherche. Source: Auteurs.

## 6.6 *La méthodologie de la recherche*

Depuis que les deux couches extérieures de l'oignon de recherche introduit ont été pelées et expliquées, le choix méthodologique est la troisième couche qui doit être prise en compte. Ce choix méthodologique repose sur la recherche quantitative, les deux étant représentées dans l'environnement bâti (Amaratunga et al., 2002). La combinaison du Lean 4.0 sera expliquée afin de justifier le choix d'une méthodologie adaptée à cette recherche.

### 6.6.1 Recherche quantitative

Quantitatif comme adjectif indique "que quelque chose est exprimable en termes de quantité (c'est-à-dire une quantité ou un nombre défini)"(Schwandt, 2001). Les données quantitatives sont donc numériques, ce qui est souvent analysé statistiquement afin d'examiner les relations entre les différentes variables (Saunders & Lewis, 2012). Cela signifie généralement que des arguments et une théorie doivent être élaborés pour tester et généraliser ces données numériques (Amaratunga et al., 2002). Cela suit la logique déductive qui est étroitement liée aux données quantitatives ainsi que la position positiviste de la philosophie (Saunders & Lewis, 2012). En outre, la recherche quantitative recueille souvent une grande quantité de données qui doivent être réduites par différentes techniques avant que le chercheur puisse analyser les relations entre les variables (Bell et al., 2018). Les statistiques descriptives et leurs tests ou progiciels statistiques, qui sont principalement réalisés à l'aide de SPSS (progiciels statistiques pour les sciences sociales) (Easterby-Smith, Thorpe, & Jackson, 2012), sont un exemple d'analyse quantitative.

Concernant les avantages de la recherche quantitative il convient de mentionner une liste de points forts :

- ✚ "La comparaison et la reproduction sont autorisées ;
- ✚ L'indépendance du sujet observé par rapport au chercheur (observateur) ;
- ✚ Le sujet étudié est mesuré objectivement ;
- ✚ La fiabilité et la validité peuvent être déterminées de manière plus objective que dans la recherche qualitative ;
- ✚ La forte capacité de mesure dans les aspects descriptifs ;
- ✚ La nécessité de formuler des hypothèses pour une vérification ultérieure".

### 6.6.2 Recherche par questionnaire - à tester

Les approches de recherche positivistes sont les stratégies qui permettent au chercheur d'être objectif et de généraliser les résultats (De Vaus & de Vaus, 2013). De plus, elles aident le chercheur à tester un cadre théorique bien défini, élaboré à partir de la littérature (Dixon et al., 2016). L'approche la plus courante répondant à ces critères est la recherche par enquêtes (Bhattacharjee, 2012). Elle est conçue à partir d'une lecture de la littérature et opérationnalisée pour refléter différents concepts. Elle évite la subjectivité car, tout d'abord, elle est administrée à distance. En d'autres termes, le chercheur n'influence pas les résultats. La position ontologique vis-à-vis de la réalité extérieure se reflète dans la croyance que les répondants ne la connaissent pas, de sorte que les questions sont utilisées pour mesurer des pratiques simples. En d'autres termes, la question n'est pas formulée comme suit : "Pensez-vous que les organisations sont capables d'appliquer les principes du Lean management ? Cependant, deux questions ont été posées afin de trouver une relation : "quels sont les impacts du gaspillage sur les 3 piliers de performance cout, qualité, délai ", et la deuxième question porte sur les pratiques du Lean management. Par une telle opérationnalisation (conversion des concepts en éléments mesurables), la réalité peut être saisie.

Les positivistes croient en une réalité, c'est pourquoi un autre questionnaire a été élaboré qui touche aux maturités du Lean 4.0 au sein des organisations. Le questionnaire a été distribué dans le monde entier.

- *Le questionnaire*

Les questionnaires sont généralement basés sur des données collectées électroniquement et analysées par des techniques statistiques. Les questionnaires et les entretiens structurés partagent certaines caractéristiques générales. Par exemple, tant les entretiens structurés que les questionnaires permettent une analyse statistique, mais les enquêtes sont plus efficaces car elles permettent d'obtenir une grande quantité de données à moindre coût (Saunders et al. 2009).

Cette recherche a utilisé des questionnaires électroniques qui sont des enquêtes pouvant être affichées sur le Google Forms (le cas de cette recherche) ou via une autre interface électronique. La conception de ce type de questionnaire présente certains problèmes communs aux enquêtes traditionnelles sur papier (par exemple, l'ordre et la formulation des questions) mais comporte également de nouvelles caractéristiques telles que

la disposition des écrans et les problèmes de navigation (Saunders & Lewis, 2012). Néanmoins, la conception des instruments d'enquête (électroniques ou non) reste un travail de chercheur, qui ne peut être remplacé par un expert en informatique ou un concepteur de sites web. Les questionnaires peuvent être intégrés dans le corps d'un message électronique envoyé dans un fichier joint ou rendus accessibles par un lien hypertexte. Le répondant remplit le questionnaire et le renvoie par les mêmes moyens ou, à défaut, il peut l'imprimer et envoyer la version complétée par courrier à une adresse fournie par l'expéditeur. Dans cette étude, cette deuxième alternative n'a pas été proposée, car la prise en charge des répondants cibles qui connaissent les enquêtes en ligne et le renvoi des questionnaires par la poste est un processus plus lent.

Tous les questionnaires utilisés dans cette recherche, y compris la conception de l'outil, ont été construits selon le même modèle. Les concepts ont été opérationnalisés en une série de points allant de trois à cinq questions (Bhattacharjee, 2012). Dans la mesure du possible, les concepts ont été tirés de la littérature afin d'assurer leur validité théorique. Toutes les questions avaient des réponses mesurables sur une échelle de six points. Des échelles standardisées ont été établies pour éviter tout ajustement qui pourrait conduire à des résultats faussés (Field, 2013). À vrai dire, une échelle à six points a été plus utile pour étudier les interactions. Nous avons étudié :

- *Techniques d'échantillonnage*

La taille de l'échantillon était basée sur l'objectif de l'analyse. Pour une analyse descriptive telle que la moyenne, la déviation, plus de trente cas seraient suffisants pour une courbe de distribution normale (Field, 2013). Toutefois, pour une analyse de régression, lorsque le besoin est de tester les relations entre différents paramètres dans un modèle unique, la taille de l'échantillon est déterminée par le nombre de paramètres. Dans cette technique d'échantillonnage variable, chaque paramètre a besoin de trente cas pour permettre l'évaluation de la validité et de la fiabilité de la construction (Velicer & Fava, 1998).

La méthode adoptée pour la sélection de l'échantillon était l'échantillonnage à l'aveugle ou de commodité. Ce type d'échantillon a été choisi sur la base des critères suivants : accessibilité, simplicité et disponibilité des répondants contactés (Savall & Zardet, 2004). Trois questionnaires ont été élaborés dans le cadre de cette recherche :

- La collecte des données du 1<sup>er</sup> questionnaire de l'état des lieux a été effectuée de Janvier à Avril 2019, en Algérie précisément pour avoir une idée claire sur la situation des projets dans les entreprises de construction.
- Un 2<sup>ème</sup> questionnaire a été développé en exploitant le modèle de maturité de Lean 4.0, il a été envoyé à 300 entreprises dans le monde entier entre Avril et Décembre 2020, les invitant à participer sur une base volontaire. Au total, 76 répondants ont accepté de participer à cette recherche. Dans cette analyse, nous nous intéressons aux réponses de l'Algérie, et des pays de golf - les réponses des autres nationalités proviennent de pays différents et il n'est donc pas possible de définir une norme culturelle. Pour évaluer le niveau d'intégration de la démarche Lean 4.0 dans une entreprise, le questionnaire est construit autour des 9 dimensions organisationnelles (Cf. Chapitre 1, partie 2.2). Au total, 59 pratiques MM Lean4.0 regroupées dans les 9 dimensions sont évaluées.
- Un 3<sup>ème</sup> questionnaire a été élaboré dans la crise organisationnelle due au Covid-19 pour examiner l'attitude des entreprises par rapport à l'application des outils et des technologies du Lean 4.0 dans le cas normal et dans le cas des crises. Il a été structuré comme son précédent mais on a essayé de mesurer la maturité en termes de 5 dimensions organisationnelles qui sont les plus étudiés dans les articles. Nous voulons faire une comparaison entre le contexte Algérien et Français, ou nous avons envoyé 120 questionnaires, et nous avons eu 98 réponses :

- *Analyse des données du 3<sup>ème</sup> questionnaire du MM de Lean 4.0*

L'analyse des données du questionnaire a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS. Ce logiciel SPSS a été utilisé pour effectuer plusieurs types des analyses et des tests, à savoir les statistiques descriptives des différentes variables (47 étudiés) ; la réalisation d'une analyse factorielle (AF) pour la validation du cadre conceptuel révisé", des coefficients de corrélation de Spearman pour analyser l'interrelation entre les outils du Lean et les technologies de L'Industrie 4.0 et le test qui analyse les moyennes pour généraliser les résultats. Les mesures numériques des statistiques descriptives ont été calculées pour résumer et décrire les données recueillies.

Les statistiques descriptives les plus pertinentes utilisées sont la moyenne, et l'écart-type. Pour une variable donnée la moyenne est le score moyen attribué par les répondants (la somme des réponses/points divisés par le nombre de réponses) qui par des valeurs

extrêmement élevées et faibles. L'analyse des données est enrichie si les trois mesures sont utilisées. Enfin, l'écart-type est une mesure de la dispersion autour de la moyenne. L'analyse factorielle par la méthode des composantes principales avec la rotation Varimax a été appliquée pour classer les dimensions du MM de Lean 4.0. Pour évaluer l'adéquation de l'échantillonnage, nous avons utilisé l'indice KMO, le test KMO Sphéricité de Bartlett. L'analyse factorielle a produit des scores factoriels. Pour effectuer l'analyse statistique, nous avons adopté un niveau de fiabilité de 5%. (Intervalle de confiance de 95 %). Pour estimer les données, nous avons utilisé le logiciel IBM SPSS Statistics version 21.

- *La validité du questionnaire « l'analyse factorielle »*

La validité du questionnaire se réfère à la précision de l'outil de mesure pour mesurer ce qu'elle entend évaluer. L'évaluation des performances a été menée pour vérifier la validité conceptuelle du cadre conceptuel étudié. L'analyse factorielle « AF » est la méthode dont nous avons utilisé pour étudier les interrelations entre les variables qui est la principale et la plus ancienne technique d'analyse multi variée. Elle permet ainsi d'examiner les corrélations entre les variables étudiées et peut indiquer s'il y a un chevauchement" entre divers sous-groupes de variables. L'idée de base a été proposée par Pearson (1901) et Spearman (1904), tous deux chercheurs en psychologie. Selon Cibois (2006), "l'analyse factorielle est une technique de statistique multi variée, utilisée pour effectuer des enquêtes : elle permet, lorsqu'on a des individus, de disposer de nombreuses informations sur les opinions, les procédures et le profil (sexe, âge, etc.), afin de garantir leur représentation géométrique, c'est-à-dire en utilisant un graphique qui montre leurs relations mutuelles, et les contradictions entre les caractéristiques des individus". La [Figure 26](#) montre l'analyse factorielle effectuée en cinq étapes en s'inspirant des travaux de (Martins, 2016) :

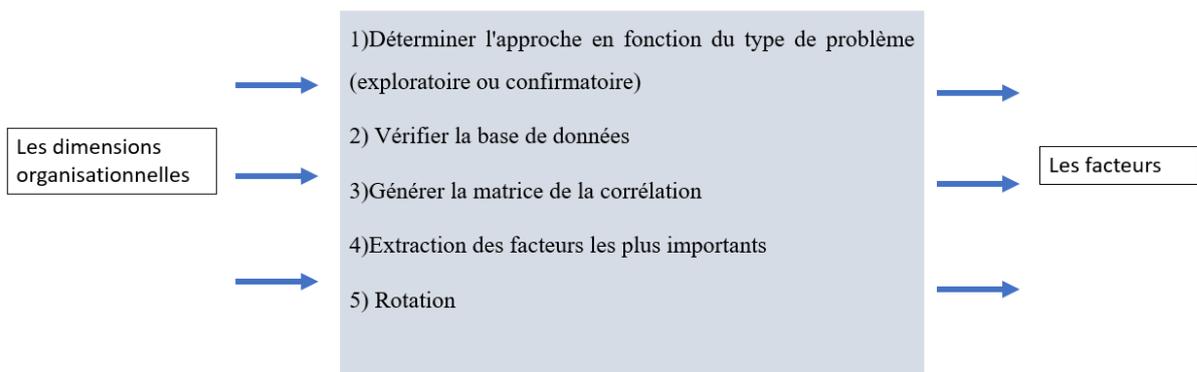


Figure 26: Les étapes de l'enquête. Source : Auteurs.

1. Déterminer l'approche en fonction du type de problème : la littérature identifie deux types d'analyse factorielle : exploratoire et confirmatoire. La méthode exploratoire utilise des normes de corrélation existantes entre les variables et les exploite pour regrouper les variables en facteurs. La méthode de confirmation suppose qu'une théorie des variables qui mesurent les facteurs est déjà disponible et que l'on souhaite confirmer le degré des facteurs ;
2. Vérifier la base de données : cette étape consiste à examiner si le sondage est adapté au modèle ;
3. Générer une matrice de corrélation : calcul de la matrice de corrélation pour vérifier le degré d'association entre les variables ;
4. Extraction des facteurs les plus importants : l'objectif de cette extraction est de déterminer un ensemble de facteurs qui forment une combinaison des éléments suivants des variables d'origine ou de la matrice de corrélation ;
5. Rotation : le but de la rotation est d'obtenir un schéma de contributions au projet plus facile à interpréter que le diagramme factoriel (Minitab, 2016). La rotation peut se faire de deux manières : orthogonale et oblique. Les rotations orthogonales présument que les facteurs obtenus sont indépendants les uns des autres. Dans ce type de rotations, plusieurs méthodes sont décrites, telles que quartimax, equamax et varimax. D'autre part, les rotations obliques sont adaptées à un modèle factoriel dans lequel les éléments sont présumés être non corrélés. Les moyens les plus courants

sont : oblmin direct, promax, etc. Nous avons utilisé dans cette recherche la rotation orthogonale, et nous avons appliqué la rotation varimax.

### 6.6.3 Analyse multi variée non structurée

L'analyse quantitative va de l'analyse descriptive dans l'outil, de l'analyse multivariée non structurée pour vérifier l'outil et tester les interactions entre les facteurs, à la modélisation d'équations structurées pour les cadres de test. L'analyse corrélacionnelle et la régression ont été utilisées pour trouver et tester les relations entre les concepts en séquence (Field, 2013). L'analyse corrélacionnelle a été utilisée dans tous les chapitres d'analyse quantitative (7, et 8) pour découvrir les relations entre les concepts. L'analyse de régression a été utilisée au chapitre 7 pour tester l'impact des technologies tel que proposé au chapitre 3 sur les outils de gestion Lean avec SPSS 25 et SMART PLS. Ainsi, dans les chapitres 7 et 8, nous avons effectué une régression multiple.

Dans un premier temps, la relation entre les variables dépendantes et indépendantes doit être linéaire ; puis, la normalité multivariée doit être implicite ; ensuite, la relation entre les variables dépendantes doit être faible ou nulle ; enfin, il ne doit y avoir aucune autocorrélation entre les variables dépendantes et indépendantes. En outre, l'homoscédasticité est assurée (le niveau d'erreur est constant pour les variables indépendantes).

### 6.6.4 Le cas d'étude - Pour la validation des résultats

L'approche par étude de cas consiste en une exploration approfondie d'un programme, d'un événement, d'un processus ou d'un individu (Creswell & Creswell, 2017). En d'autres termes, elle explore en détail un ou plusieurs cas réels sur une période donnée en utilisant plusieurs sources d'information (Creswell & Poth, 2016). Les études de cas peuvent être menées sous forme de recherche qualitative ou de méthodes mixtes dont il est courant de valider les résultats (Saunders & Lewis, 2012).

Les études de cas se présentent sous trois formes : positiviste (tester le cadre théorique) (Yin, 2013), interprétative (comprendre les phénomènes) (Stake, 1995) et pragmatique (Tsang, 2014). Le terme "cas unique" est souvent utilisé lorsqu'il représente un cas critique ou, à la limite, un cas extrême ou cas unique. Inversement, un cas unique peut être sélectionné parce qu'il est typique ou en raison de la possibilité d'observer et d'analyser un phénomène que peu de gens ont considéré auparavant (section 7.3). Inévitablement, un

aspect important de l'utilisation d'un cas unique consiste à définir le cas réel, pour de nombreux étudiants à temps partiel c'est l'organisation dans laquelle ils travaillent. Étant donné que l'objectif des études de cas menées dans le cadre de cette recherche était de valider les résultats de la recherche, les études se sont rapprochées des études de cas pragmatiques dont le but était d'intervenir sur un sujet et de voir les résultats. La validation a été basée sur les résultats et la manière dont les personnes impliquées dans les affaires ont perçu les résultats ou la solution proposée. Le cas de SAREL SHNEIDER ELECTRIC a été sélectionné, car il s'agit d'une entreprise très expérimentée en matière de Lean 4.0 et capable de fournir des informations sur les résultats de cette recherche.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRES VII : ETAT DES LIEUX

### 7.1 Introduction

Bien que les projets de construction aient un impact positif sur la réalisation des objectifs de développement social et économique des pays, ils sont toujours suivis de divers défis dans lesquels 70 % des projets sont exposés à des retards, 14 % des projets risquent des dépassements de coûts, et 10 % du coût des matériaux des projets sont gaspillés. Selon les statistiques mondiales en 2010, il a été constaté que 45% de l'énergie mondiale et 50% de l'eau ont été consommés par l'Industrie de la construction. De plus, 23 % de la pollution de l'air, 40 % de la pollution de l'eau et 40 % de la production de déchets sont causés par les projets de construction.(Swefie, 2013). Les principales raisons de ces problèmes sont les pratiques non durables utilisées dans les projets de construction et les approches inappropriées de la gestion des différents types de déchets générés pendant les projets de construction. Ces problèmes ont encouragé de nombreux pays à améliorer leurs pratiques de construction en appliquant le Lean management.

Le concept LM est considéré comme une technique de réduction des déchets, comme le suggèrent de nombreux auteurs, mais dans la pratique, le LM maximise la valeur du produit en minimisant les déchets. Les principes du LM définissent la valeur du produit/service telle qu'elle est perçue par le client, puis font en sorte que le flux soit en ligne avec l'attraction du client et visent la perfection par l'amélioration continue afin d'éliminer les déchets en triant les activités à valeur ajoutée (VA) et les activités sans valeur ajoutée (NVA). Par conséquent, ce chapitre vise à améliorer les performances et à réduire les déchets des projets de construction en Algérie par le contrôle des points suivants (Baglin & Capraro, 2000):

- Une évaluation permettant d'identifier le contexte dans lequel s'inscrit la stratégie d'élimination du gaspillage dans les entreprises algériennes.
- Une évaluation détaillée qui porte sur l'impact de gaspillage sur les trois piliers de la performance : cout, qualité, et sur le délai des projets.
- Une synthèse de l'évaluation qui a pour objectif de structurer, et choisir les plans d'actions les plus appropriés,

- Le développement des plans d'actions et leur mise en œuvre qui représentent la matérialisation de la démarche ou des étapes nécessaires pour atteindre les résultats souhaités.

Cette étude vise à identifier les priorités existantes entre les pratiques.

Pour ce faire, l'approche que nous avons choisie consiste à élaborer un questionnaire d'auto-évaluation dans 46 entreprises algériennes dans le secteur de construction. L'enquête porte sur le gaspillage dans les entreprises et son impact sur les coûts, le délai et la qualité avec l'adaptation des entreprises à l'application des méthodes d'amélioration des performances notamment les principes et les techniques du Lean management.

## **7.2 La taille de l'échantillon**

Pour atteindre l'objectif de cette recherche, la méthode adoptée pour la sélection de l'échantillon a été de type aveugle ou de commodité. Ce type d'échantillon a été choisi selon les critères suivants : accessibilité, simplicité et disponibilité des répondants contactés (Savall & Zardet, 2004). La collecte des données a été effectuée de décembre à mars 2020. Un questionnaire a été envoyé aux personnes impliquées dans le processus de construction telles que les chefs de projet, les architectes, les ingénieurs et les directeurs de construction, ainsi qu'aux personnes invitées à participer sur une base volontaire. 46 personnes ont répondu dans des entreprises de construction afin d'étudier les principaux facteurs qui influencent la performance des projets de construction et la compréhension des employés concernant la pensée/les techniques d'allègement dans le projet de construction algérien. Le questionnaire est structuré en trois sections principales comme suit :

- Section (A) : elle est structurée de manière à obtenir des informations générales et des informations de base sur l'expérience des répondants.
- La section (B) : est structurée de manière à identifier les facteurs qui affectent la performance globale du projet dans la pratique actuelle.
- La section (C) : est structurée de manière à examiner la connaissance des répondants sur les techniques Lean et leurs applications dans les projets de construction algériens.

Un questionnaire a été réalisé et envoyé à 50 répondants dans différentes organisations. Seuls 46 des 50 ont répondu au questionnaire. L'objectif principal de ce questionnaire est de mesurer la sensibilisation des entreprises au Lean en Algérie.

### 7.2.1 Section A : informations sur le projet

Cette section est structurée de manière à permettre d'obtenir des informations générales sur le projet et sur l'expérience des répondants dans les entreprises de construction. L'expérience des personnes interrogées varie entre 5 ans et plus de 20 ans (Figure 27), et 66,7 % d'entre elles occupent un poste de chef de projet (Figure 28). Tous les projets étaient des bâtiments neufs. La plupart des projets ont une valeur supérieure à 10 millions de DZD (Figure 29).

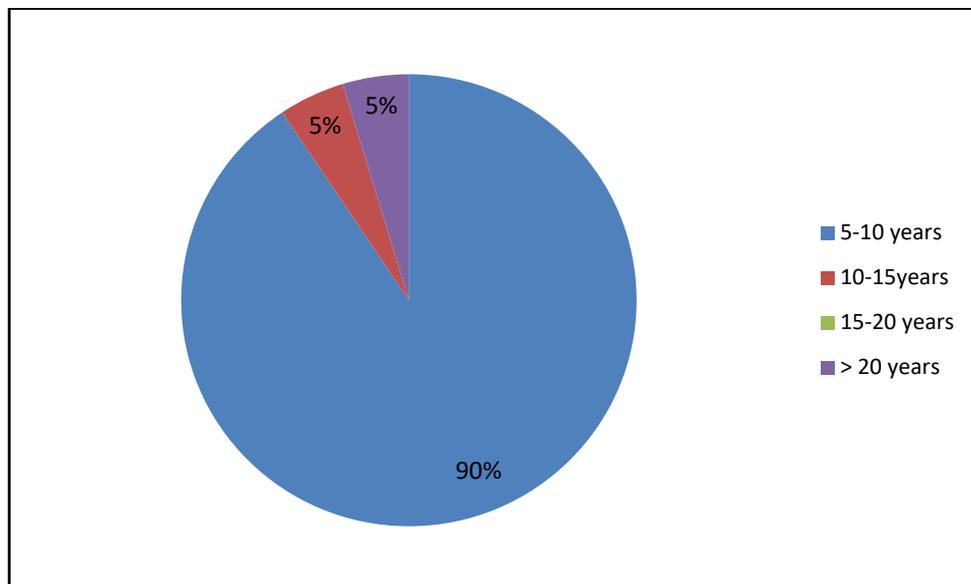


Figure 27: Les années d'expérience. Source : les contributions des auteurs.

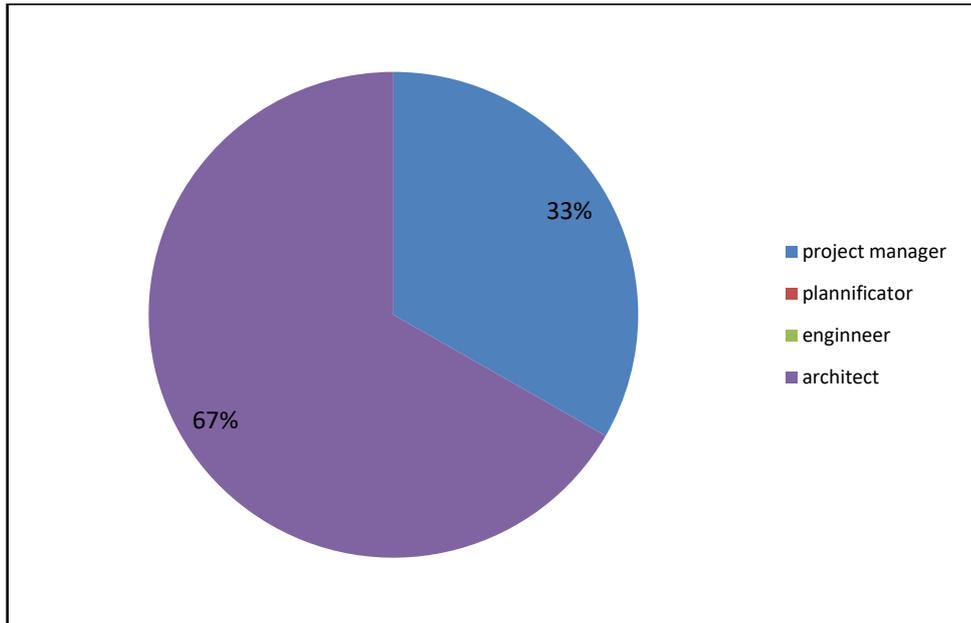


Figure 28: La profession des répondants. Source : auteurs.

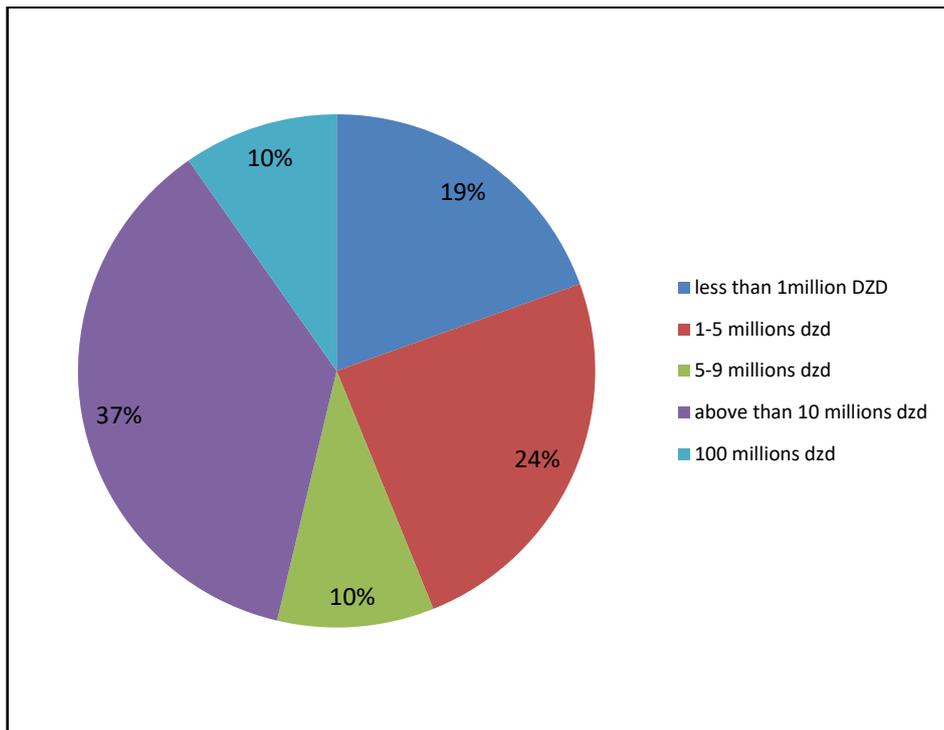


Figure 29: Le budget du projet. Source : Auteurs, 2020.

## 7.2.2 Section B : Facteurs affectant la performance des projets de construction en Algérie

L'objectif de la section (B) est d'identifier les facteurs affectant la performance globale du projet dans la pratique actuelle. L'impact de plusieurs facteurs sur la performance du projet a rencontré le gestionnaire de projet dans la phase d'exploitation. Elle montre la fréquence des facteurs ayant un impact sur la performance globale du projet. Ces facteurs provoquent de nombreuses perturbations dans le processus de construction.

Tableau 15: La fréquence des facteurs ayant un impact sur la performance globale du projet. Source : auteurs,2020.

	<i>Facteurs ayant un impact sur les performances du projet</i>	<i>Coût</i>	<i>Délai</i>	<i>Qualité</i>
1	Ordres de changement par le propriétaire pendant la construction (Variations)	84,2%	64,4%	62,2%
2	Rectification d'erreurs lors de la construction	36,8%	60%	73,3%
3	Mauvaise gestion et supervision du chantier par le sous-traitant	75,6%	71,1%	62,2%
4	Difficultés de financement du projet par le maître d'ouvrage	60%	46,7%	82,2%
5	Mauvaise communication et coordination du contractant avec les autres parties prenantes	46,7%	86,3%	80%
6	Une planification et une programmation inefficaces du projet par le maître de l'ouvrage	57,8%	97,8%	37,8%
7	Mauvaise qualification du personnel technique du sous-traitant	48,9%	42,2%	93,3%
8	Erreurs et divergences dans les documents de conception	75,6%	84,4%	73,3%
9	la livraison tardive du matériel et de l'équipement	33,3%	82,2%	55,6%
10	Insuffisance de détails dans les plans	48,9%	66,7%	77,8%
11	Complexité de la conception du projet	73,3%	75,6%	51,1%
12	Collecte de données et enquête insuffisantes	51,1%	73,3%	68,9%
13	Une main-d'œuvre non qualifiée	42,2%	77,8%	91,1%

Les répondants devaient classer les facteurs, sur une échelle de Likert (1-5), comme suit : "très élevé (5)", "élevé (4)", "moyen (3)", "faible (2)" ou "très faible (1)". Voici une description des principaux facteurs qui ont eu un impact sur le coût, le temps et la qualité, selon les classements effectués par les répondants. Les principaux facteurs ayant un impact sur la performance du projet sont identifiés sur la base des facteurs suivants dont la fréquence d'occurrence est supérieure à 50 %. Les facteurs dont l'impact total est de niveau moyen, élevé et très élevé, supérieur ou égal à 50 % du total des répondants de chaque facteur.

### *7.2.2.1 Les principaux facteurs ayant un impact sur le coût du projet*

Le coût d'un projet de construction est une préoccupation majeure pour la grande majorité des clients de la construction. Comme le montre la, les principaux facteurs ayant une incidence sur le coût du projet selon les critères susmentionnés sont 9 facteurs sur 13 ([Tableau 16](#)): On en déduit que la plupart des facteurs peuvent affecter le coût du projet.

### *7.2.2.2 Les principaux facteurs ayant un impact sur le délai du projet*

Dans le cadre de cette recherche, l'accent sera mis sur les causes de retard du projet ou sur les facteurs ayant un impact sur le calendrier du projet. Le classement des causes de dépassement du temps du point de vue de l'entrepreneur. On peut conclure que plus de 80 % des personnes interrogées estiment que, pour un projet de construction, une mauvaise communication de la part de l'entrepreneur, un calendrier inefficace, des erreurs et des divergences dans les documents de conception et une livraison tardive des matériaux et des équipements sont les principaux facteurs de retard et de dépassement de délai. Ces facteurs seront mis en évidence pour montrer comment l'utilisation du concept Lean peut éviter de tels retards. Les principaux facteurs ayant un impact sur la durée du projet selon les critères susmentionnés sont 11 facteurs sur 13 ([Tableau 16](#)).

### *7.2.2.3 Les principaux facteurs ayant un impact sur la qualité des projets*

Comme le montre ([Tableau 16](#)), les principaux facteurs ayant un impact sur la durée du projet selon les critères susmentionnés sont les suivants (12 facteurs sur 13).

## **7.2.3 Section C : Sensibilisation des répondants aux techniques Lean et à leurs applications dans le projet de construction algérien**

La section (C) est structurée de manière à examiner la connaissance des répondants sur les pratiques du LM et leurs applications dans les projets de construction algériens. Les questions ont examiné les différents principes du LM pour voir la possibilité d'appliquer l'approche LM aux projets de construction en Algérie. Les principes suivants ont été évalués sur une échelle de type Likert allant de 1 (très en désaccord) à 5 (très d'accord). ([Figure 30](#)).

- *Réduction du gaspillage*

La Figure 30 montre le classement de chaque principe relatif à la réduction des déchets dans les entreprises de construction algériennes. On peut en conclure qu'il faut faire plus d'efforts pour sensibiliser les employés sur le site à la réduction des déchets, car 63,6 % des personnes interrogées estiment que la sensibilisation à la réduction des déchets est faible ou très faible. De même, il faudrait accorder plus d'attention à la quantification de la perte de productivité, 98 % des personnes interrogées étant d'accord ou tout à fait d'accord. La préoccupation concernant la répartition des déchets matériels sur le site devrait être améliorée. Il faudrait également faire plus d'efforts pour mieux informer les employés du site sur la réduction des déchets.

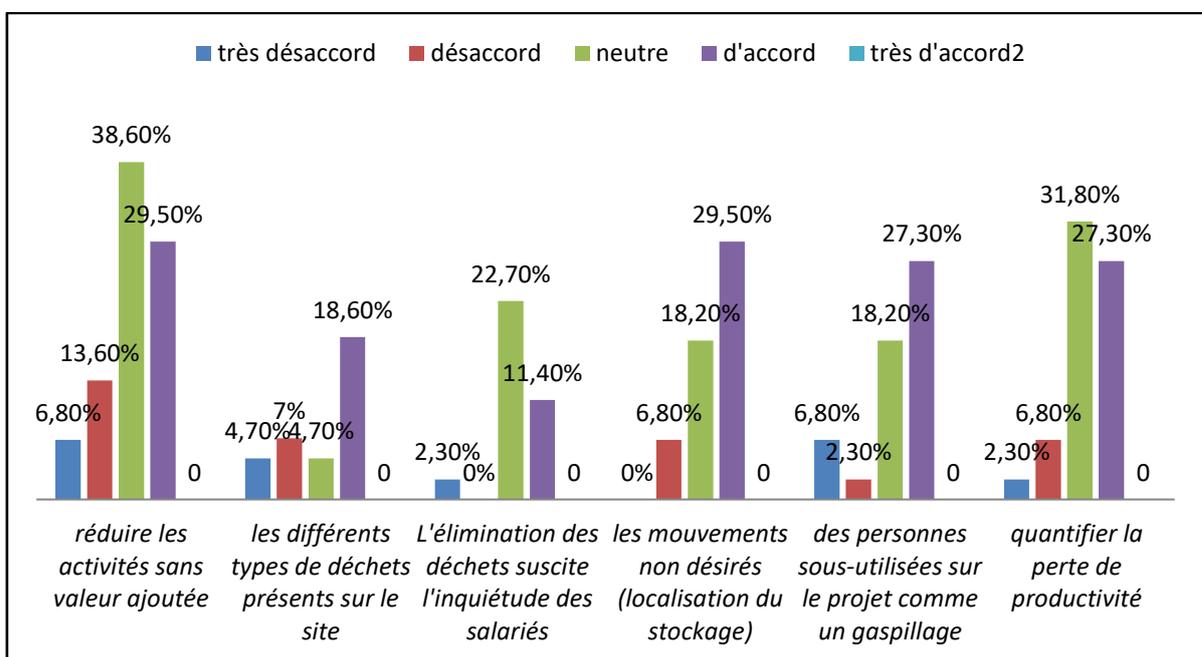


Figure 30: Réduction du gaspillage. Source : Auteurs.2020.

- *Réduction de la variabilité*

La Figure 31 montre le classement de chaque principe relatif à la réduction de la variabilité. Il a été conclu qu'une grande attention a été accordée à la normalisation des processus au sein des projets d'une même organisation, ce qui reflète leur potentiel d'adoption de certaines des techniques de LM.

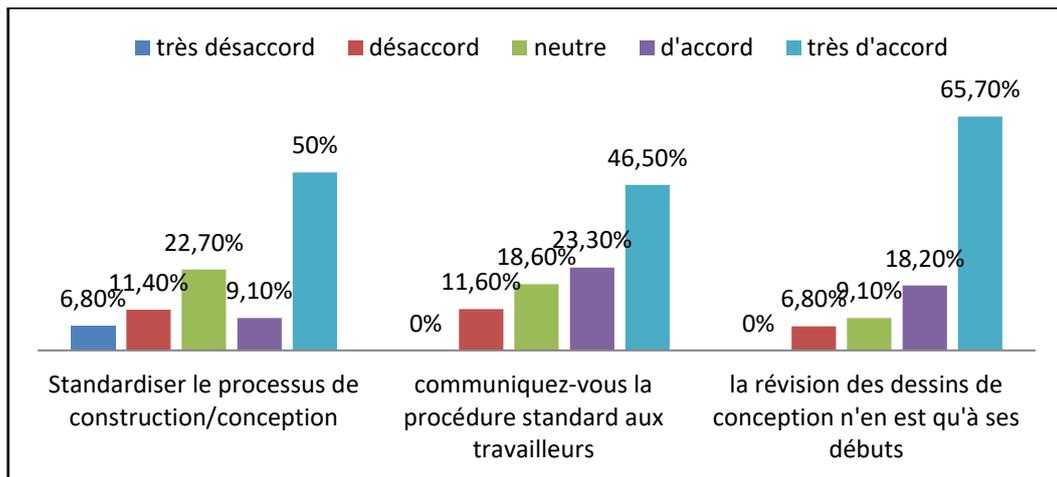


Figure 31: Réduction de la variabilité. Source : Auteurs.2020.

- *Accroissement de la transparence*

La Figure 32 montre le classement de chaque principe relatif à la transparence sur le terrain dans les projets de construction en Algérie. On peut conclure que la majorité des répondants sont fortement d'accord avec l'application des principes de transparence et qu'ils considèrent que tous les projets devraient utiliser la gestion visuelle pour améliorer les performances en partageant les informations sur le projet avec les employés et aussi pour nettoyer les déchets du site, puisque plus de 72,7% des répondants ont répondu qu'ils étaient tout à fait d'accord. Par conséquent, une plus grande attention devrait être accordée à l'amélioration de la visualisation des processus sur le site.

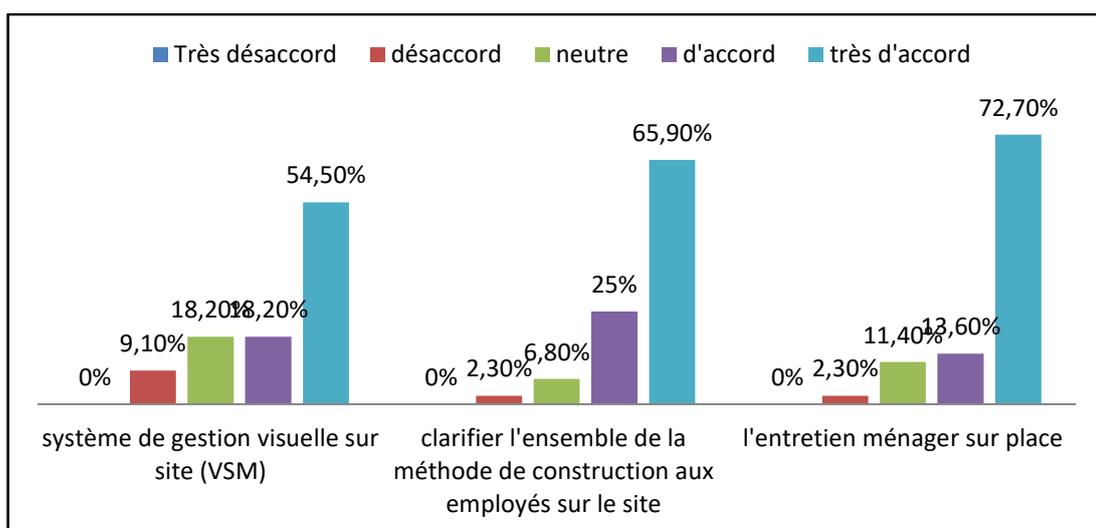


Figure 32: Accroissement de la transparence. Source : auteurs.2020.

- *Cartographie du système de management visuelle : VSM*

La Figure 33 a mesuré la sensibilisation des répondants à la gestion visuelle. On peut conclure des réponses que le niveau de sensibilisation de 43,2% des répondants est moyen, tandis que 36,4% est faible et ne l'utilise que pour des questions de sécurité.

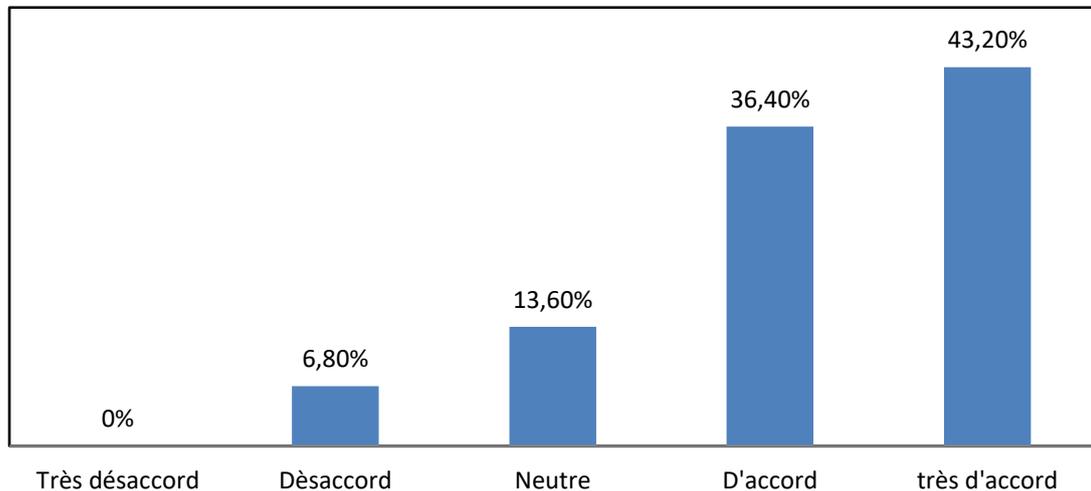


Figure 33: Système de management visuel : VSM .Source:Auteurs.2020.

- *Variabilité de flux*

La Figure 34 montre la notation du principe de la variabilité du débit sur site dans les projets de construction algériens. On peut conclure que les répondants sont favorables à l'application de ce principe puisque plus de 40% des répondants ont répondu : très d'accord et 31% ont répondu : d'accord. Il est nécessaire de s'assurer que toutes les étapes de la création de valeur se déroulent sans interruption, retard ou obstacle. Cela peut nécessiter de rompre avec la pensée "fermée", d'interagir avec tous les secteurs d'activité de l'entreprise, au-delà des intérêts personnels, et de garder l'intérêt du client comme point de convergence. Le concept de collaboration avec les fournisseurs doit être amélioré pour être plus efficace.

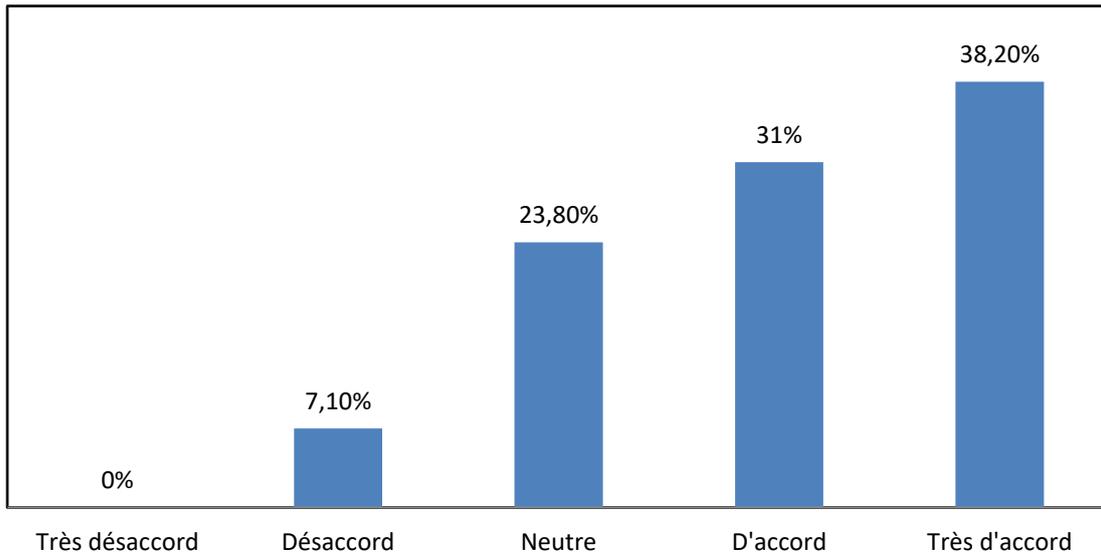


Figure 34: La variabilité de flux. Source : Auteurs.

- *Attraction des clients*

La Figure 35 montre le classement de chaque principe relatif à l'orientation client sur le site dans les projets de construction en Algérie. On peut en conclure que l'approche axée sur le client fait l'objet d'une attention et d'une considération importante dans la plupart des projets.

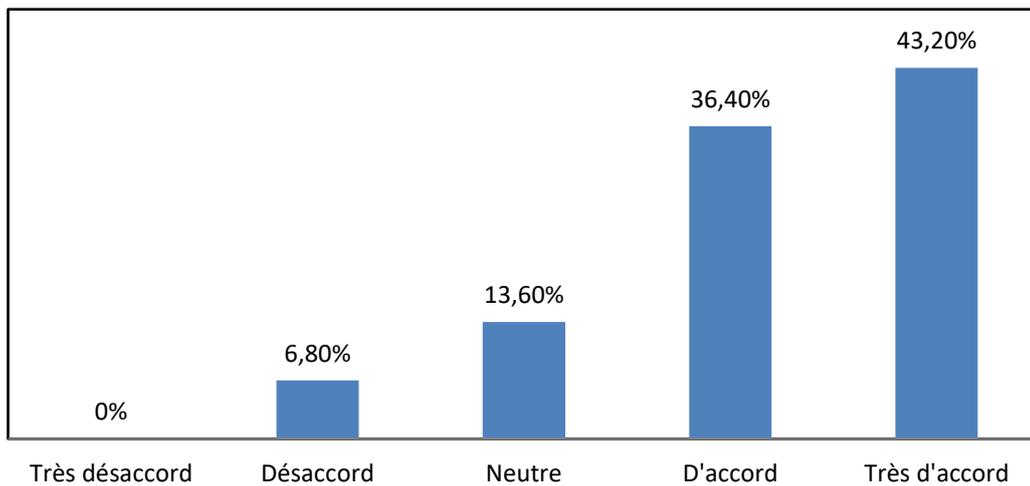


Figure 35: Attraction client. Source : Auteurs.2020.

- *Amélioration continue*

La Figure 36 montre le classement de chaque principe relatif à l'amélioration continue sur le terrain dans les projets de construction en Algérie. On peut conclure qu'il existe un important potentiel d'adoption de la plupart des techniques liées à l'amélioration continue.

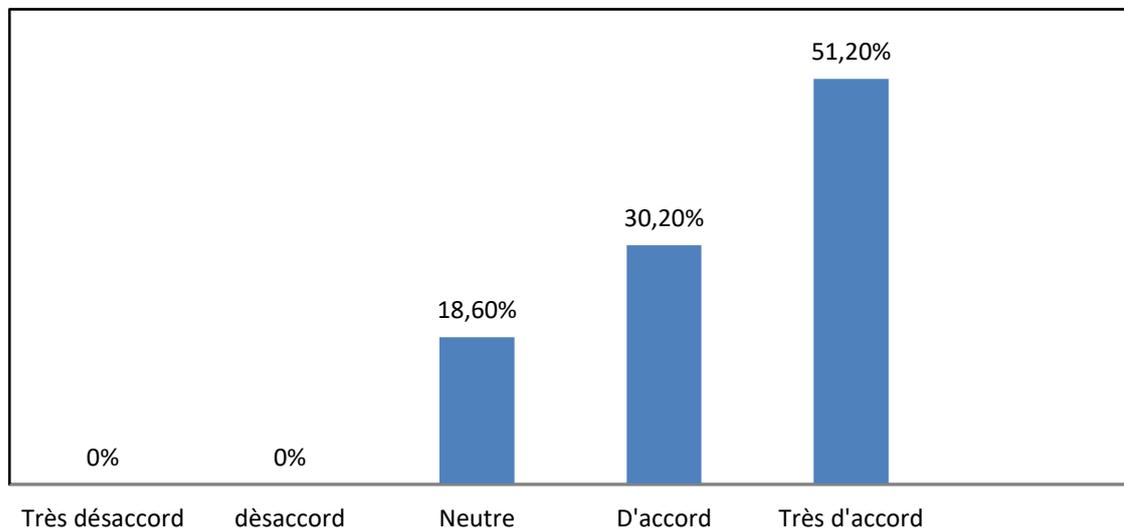


Figure 36: Amélioration continue. Source : Auteurs.2020.

Les chiffres ci-dessus montrent le classement de chaque principe en fonction de la sensibilisation des répondants aux techniques Lean et à leurs applications dans les entreprises de construction algériennes. Il en ressort que des efforts supplémentaires devraient être faits pour sensibiliser les employés sur le site à la réduction des déchets car 65,10% des personnes interrogées estiment que la sensibilisation à la réduction des déchets est faible ou très faible. Il a également été déduit qu'une grande attention a été accordée à la nécessité de l'amélioration de la performance au sein des entreprises, ce qui reflète leur potentiel d'adoption de certaines techniques de des méthodes d'amélioration tel que le LM, puisque 59,10% des personnes interrogées la considèrent comme élevée ou très élevée, car il a été démontré que la normalisation des produits (qui inclut également la modularité) et des processus apporte de nombreux avantages. Quant aux facteurs liés aux processus, sewefie et marwa dans (Swefie, 2013) ont constaté que la normalisation réduit les coûts et a naturellement un impact positif sur les processus également. En outre, un impact positif sur les questions de personnel, de qualité et de conception a été noté. Le souci d'augmenter la

visualisation des processus sur le site devrait être amélioré en utilisant des outils de gestion visuelle, ceci n'est qu'un signe puisque plus de 72,7% des répondants ne déploient pas de gestion visuelle dans leurs projets. En outre, la quantification des pertes matérielles et de la perte de productivité devrait être fortement prise en compte. En outre, le concept de variabilité des flux devrait être amélioré pour être plus efficace car la méthode du juste-à-temps est à peine utilisée sur un projet de construction en Algérie tout comme le concept de flexibilité du travail. Au contraire, il existe un potentiel décent d'utilisation de l'anticipation du calendrier pour améliorer le flux de travail du processus du fait que les répondants sont plus nombreux à être favorables à l'application de ce principe. Par ailleurs, la plupart des projets accordent une attention et une considération majeures à l'approche centrée sur le client, les réponses indiquant que la sensibilisation de 80,6% des personnes interrogées est élevée ou très élevée. Il existe enfin un potentiel notable pour l'adoption de la plupart des techniques d'amélioration continue avec plus de 81% des personnes interrogées se déclarant d'accord ou très d'accord. Ainsi, les résultats indiquent que ces techniques ne sont pas efficacement ou pas totalement mises en œuvre dans les projets de construction algériens et qu'avec un peu plus d'efforts, leur efficacité sera accrue. Il convient donc d'examiner ces techniques en Algérie afin de voir leur impact sur la performance des projets, dans la mesure où la majorité des répondants soutiennent l'application des principes et techniques d'allègement par leurs réponses : très d'accord et d'accord.

### Synthèse

Le secteur de la construction est considéré comme l'un des secteurs mondiaux. Il joue un rôle majeur dans la réalisation des objectifs du développement durable au niveau national et international. Cependant, le secteur de la construction est blâmé pour son impact négatif sur l'environnement. L'un des problèmes les plus urgents est celui des déchets générés par les projets de construction (Nagapan, Rahman, Asmi, Memon, & Latif, 2012).

Ce chapitre vise à étudier le rôle du concept de Lean Construction dans la réduction des déchets de construction dans les projets de construction algériens. En raison du nombre croissant de recherches dans ce domaine du Lean management comme méthode d'amélioration de la qualité et de réduction des déchets. Ce document analyse 50 questionnaires qui ont été distribués, dont 46 questionnaires (92 %) ont été retournés, pour susciter les attitudes des chefs de projet, des architectes, des chefs de chantier et des ingénieurs vis-à-vis les facteurs affectant la performance des projets de construction ainsi

que la perception et l'application des techniques et des principes de construction allégée comme approche pour réduire les déchets dans les projets de construction en Algérie.

Les résultats ont indiqué que les principaux facteurs affectant la performance des projets de construction en Algérie étaient en accord avec les personnes interrogées comme étant : Les ordres de modification par le propriétaire pendant la construction (Variations), les erreurs et les divergences dans les documents de conception et la main-d'œuvre non qualifiée.

D'autre part, les principes et les techniques de Lean management ne sont pas mis en œuvre efficacement dans les entreprises de construction algériennes et même étrangères. Par conséquent, ces techniques devraient être déployées en Algérie pour voir leur impact sur la performance.

## CHAPITRES VIII :

### CAS D'ETUDE : SAREL SCHNEIDER ELECTRIC

#### 8.1 *Introduction*

Après avoir introduit le modèle théorique du processus, ses outils et techniques sont ensuite vérifiés, au sein de la société SAREL SCHNEIDER Electric. L'étude de cas est ouverte à d'autres examens sur le sujet (Zainal, 2007). Pour valider les données, cette étude de cas utilise les exigences de résistance des rapports de cas (Teegavarapu, Summers, & Mocko, 2008).

Deux objectifs ont été suivis tout au long du traitement du cas :

- (1) évaluer nos résultats théoriques concernant la synergie du Lean 4.0.
- (2) illustrer un exemple pratique de Lean4.0 dans une entreprise internationale SAREL Schneider Electric. En outre, l'étude présente les actions futures et les stratégies de mise en œuvre.

#### 8.2 *Présentation de l'entreprise SAREL Schneider Electric*

Cette section est une étude de cas de la société SAREL Schneider Electric (Figures 37 et 38), qui a mis en œuvre avec succès le Lean 4.0 au sein de l'organisation. Elle est engagée à définir de nouveaux modèles de capture de la valeur ajoutée basés sur la technologie numérique, où le parcours de transformation de la chaîne d'approvisionnement a connu plusieurs percées vers la centralité du client et l'efficacité des flux de trésorerie, tout en améliorant les performances de productivité. Ceci grâce à Tailored Sustainable Connected Supply Chain 4.0, Tailored est la personnalisation pour les besoins du client : avoir, de la production à la livraison, les données du client au cœur du processus. Durable parce qu'ils s'engagent à respecter l'empreinte carbone, la recyclabilité et l'économie circulaire tout au long de notre chaîne d'approvisionnement. Connectés, parce que c'est grâce aux solutions EcoStruxure qu'ils peuvent collecter des données et améliorer nos processus et notre chaîne d'approvisionnement dans le monde entier. (Figure 39).

€ 127,05 -1,93% Global(Anglais) Mes produits Mon Des documents S'identifier S'enregistrer

Rechercher des produits, des documents et plus

DES PRODUITS SOLUTIONS PRESTATIONS DE SERVICE SOUTIEN À PROPOS DE NOUS

Pour votre entreprise > EcoStruxure™: architecture et plateforme compatibles IoT > Bâtiments efficaces

EcoStruxure™	<b>Bâtiment EcoStruxure</b>	Usine et machine EcoStruxure	Grille EcoStruxure	EcoStruxure IT	Puissance EcoStruxure	Plateforme EcoStruxure
						
<b>Ouvert et innovant</b> Intégrez facilement le matériel, les logiciels et les sous-systèmes tout en collaborant avec un écosystème plus large.	<b>Backbone IP numérique</b> À l'épreuve du futur avec un meilleur contrôle et une meilleure gestion de vos systèmes avec des contrôles IP modernes.	<b>Analyses et services</b> Offrez des expériences personnalisées, prévoyez les pannes, découvrez l'efficacité énergétique et planifiez l'utilisation des espaces.	<b>Cybersécurité et résilience</b> Prédisez les performances des actifs, effectuez une surveillance à distance continue et maintenez les normes de cybersécurité.			

Chiffre d'affaires 2019 : **150 M€**



**Certifications :**

- **Qualité ISO 9001 v2015**
- **Environnement ISO 14001 v2015**
- **OHSAS 18001 v2008**

**7.2 Histoire de l'évolution de l'entreprise :**

<p><b>1836</b></p> <p>Les frères Schneider acquièrent des mines et des forges au Creusot, en France. Deux ans plus tard, ils créent Schneider &amp; Cie.</p>	<p><b>1891</b></p> <p>Devenue spécialiste de l'armement, l'entreprise se lance sur le marché émergent de l'électricité.</p>	<p><b>1919</b></p> <p>L'entreprise se développe en Allemagne et en Europe de l'Est via l'Union industrielle et financière européenne (EIFU).</p>	<p><b>1949</b></p> <p>Une restructuration en profondeur menée par Charles Schneider a lieu après la Seconde Guerre mondiale.</p>
<p><b>1975</b></p> <p>Le groupe Schneider acquiert une participation dans Merlin Gerin, l'un des leaders des équipements de distribution électrique.</p>	<p><b>1981-1997</b></p> <p>L'entreprise se désinvestit de l'acier et de la construction navale et se concentre principalement sur l'électricité via des acquisitions stratégiques.</p>	<p><b>1999</b></p> <p>Le Groupe développe l'installation, les systèmes et le contrôle avec l'acquisition de Lexel et adopte son nom actuel.</p>	<p><b>2000-2009</b></p> <p>Période de croissance organique et d'acquisitions dans de nouveaux segments de marché: UPS, contrôle des mouvements, automatisation des bâtiments et sécurité.</p>

Figure 37:Présentation de l'entreprise. Source: site du SAREL Schneider.

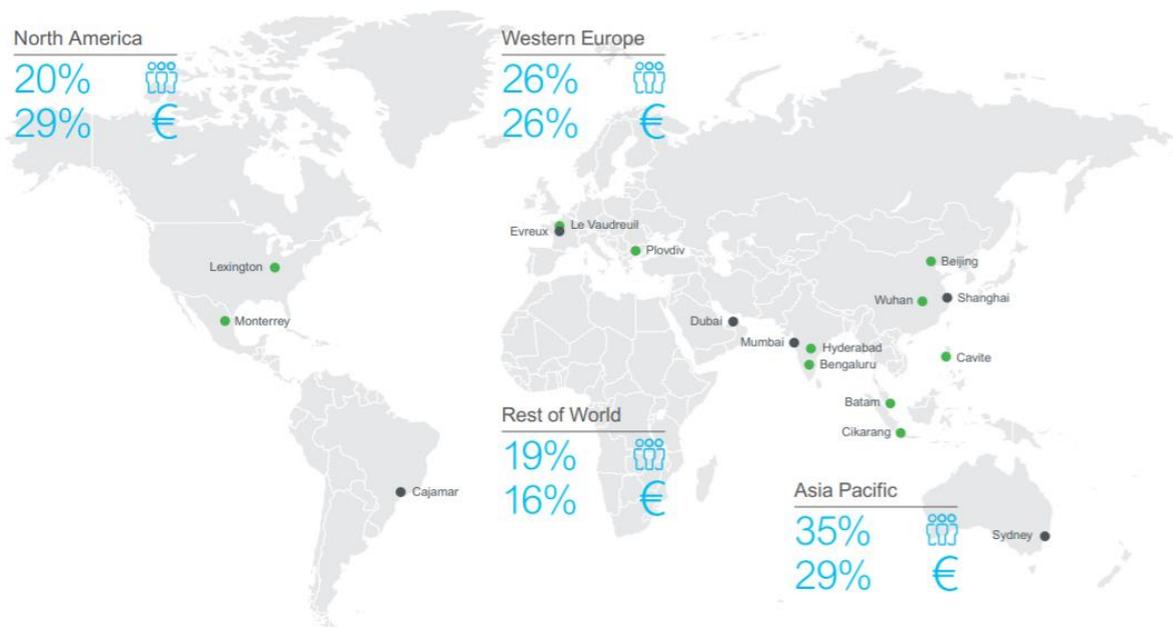


Figure 38: La distribution géographique du SAREL Schneider Electric. Source : Auteurs.

### 8.3 Les objectifs de l'entreprise

Les principaux objectifs visés par l'entreprise s'établissent comme suit :

- Eliminer les déchets : 7 Mudas.
- Être une vitrine de l'usine du Grand EST.
- Améliorer la sécurité, la qualité, le niveau de service et la productivité dans les usines Schneider du monde entier.
- Optimiser les capitaux employés (stock + travaux en cours) ;

Le personnel de l'entreprise s'efforce d'atteindre l'excellence opérationnelle sur la base des différents projets menés avec succès dans l'entreprise et la mise en œuvre du Lean 4.0 a produit des résultats significatifs et fructueux par ses principales parties prenantes.

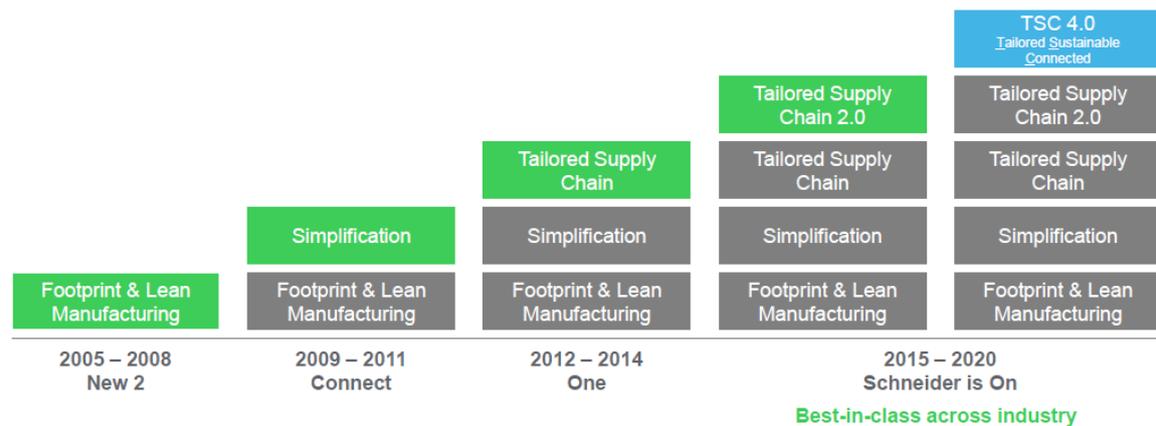


Figure 39: Tailored système. Source : entreprise Sarel Schneider Electric.

#### 8.4 L'application Lean 4.0 dans la société SAREL Schneider Electric

Pour appliquer le Lean, l'entreprise a suivi ses six principes reconnus pour sa mise en œuvre :

- Gestion Agile : Agilité de l'atelier : Apporter le contrôle au niveau de l'entreprise.
- Efficacité des processus : Une meilleure mesure et un meilleur contrôle en boucle fermée pour un plus grand débit et un traitement plus rapide.
- Gestion de la performance des actifs : Optimisation de l'utilisation des actifs pour améliorer la rentabilité.
- Responsabilisation des opérateurs : Donner aux opérateurs les moyens de prendre des décisions plus efficaces dans l'usine.
- Fiabilité : Garantir le temps de fonctionnement de l'usine, des processus et des actifs.
- Efficacité énergétique : Visibilité, contrôle et optimisation de la consommation d'énergie et des coûts.

## 8.5 Les objectifs de l'entreprise SAREL vis-à-vis le Lean 4.0

La Figure 40 présente les objectifs souhaités et atteints de l'entreprise SAREL.

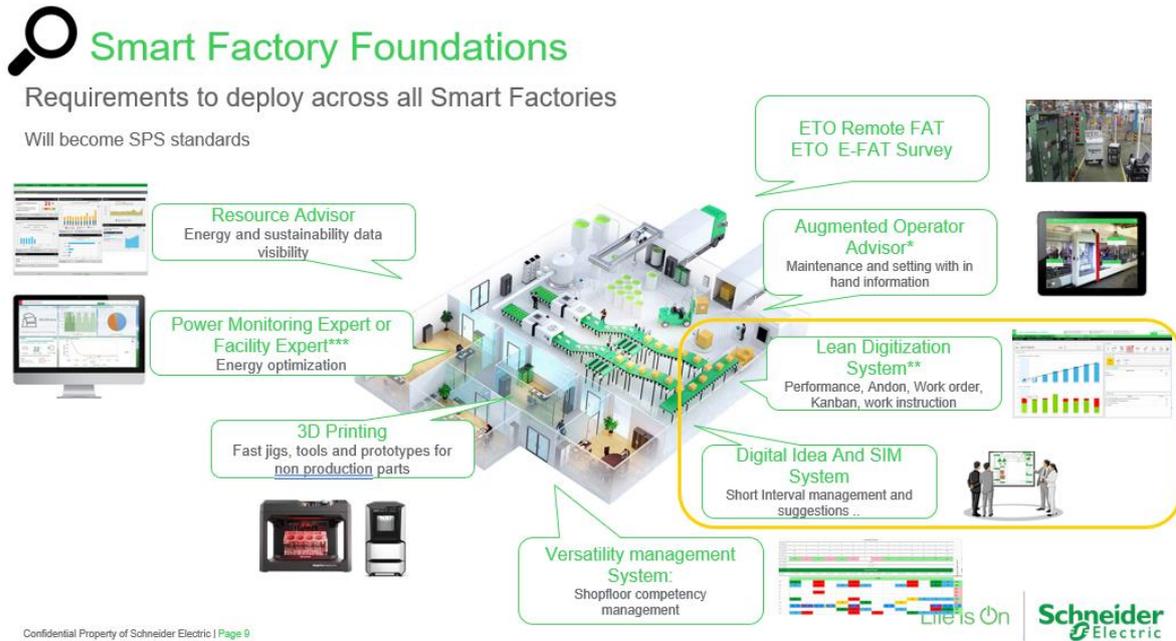


Figure 40: Les objectifs souhaités et atteints de l'entreprise SAREL. Source : SAREL

- Quels éléments constitutifs de la roadmap de transition vers Lean 4.0 ?

La Figure 41 illustre le road map suivi par l'entreprise

SIM Production	Short Interval Management	Continuous Improvement People
1A Work Instructions / Standardized Work 1A' Work Instructions / Standardized Work <b>Only for ETO</b> 1B Short Interval Production / Operation & Quality Tracking 1B' Short Interval Production & Quality Tracking <b>Only for ETO</b> 1C Standard Time Management 1C' Standard Time Management (auto workshop or line)	2A SIM Cycle 1 & 2 2B SIM Cycle 3,4 & 5 2C SIM Support Function & MBC Efficiency 2D Communication SIM Boards	3A People Development 3B Learning and Development, Versatility and Flexibility 3C 5S / Visual Management 3D Idea System
Process Architecture	Ergonomics, Environment, Safety	Continuous Improvement
4A Process Architecture: Line 4B Process Architecture: Warehouse 4C Standardization: Late Differentiation / QVE & PEP 4D MPH - Evacuation & Replenishment Process 4D' MPH <b>Only for DC</b>	5A Ergonomics 5B Environment 5C Safety	6A Process Robustness 6A' Process Robustness <b>Only for DC</b> 6B Changeover Time Minimization 6C Continuous Improvement 6D Total Productive Maintenance (TPM)
Production Planning and Scheduling	Pull Production	Supply Chain and Production Mgmt
7A Master Production Planning 7A' Master Production Planning <b>Only for DC</b> 7B Production Control 7C Inventory Planning 7D Demand Planning 7E Distribution Planning	8A Value Stream Management 8B Supply Chain and WIP Management 8C Replenishment 8D Inventory Accuracy	9A Supplier Quality 9B Customer Fulfillment 9C Collaborative Quality Management 9C' Collaborative Quality Management <b>Only for DC</b> 9D Customer Experience 9E Upstream Planning

Figure 41: Road map de déploiement du Lean 4.0 au sein du SAREL. Source: SAREL.

- Dans quel ordre déployer les différents outils ?

La Figure 42 ci-dessous montre les étapes de MM de SAREL Schneider Electric (source : SAREL).

1 - SPS Notion	2 - SPS Basic	3 - SPS Standard	4 - SPS Advanced	5 - SPS Expert	
1. At the beginning of each shift, the production/operation objectives (in units or by Transfer Order or reference for DC), by shift, by cell) for service, quality and performance are defined and communicated to the cell or sector.  New Quality Alerts and Customer Issues (and priorities for DC) are discussed.	5. Objectives are defined hourly (or reasonable defined event cycle).  Production/Operation is tracked for each event cycle by the operators per cell based on the product OTR.  Employees and / or outside observers can easily understand the tracking.	9. Tracking of value added / non-value added (barriers, waste) is done visually using SPS standard Red-Green for visual effect.  There is an explanation for 50 % of the 'RED' time (barriers /w aste).  The Operators are able to give the 3 main Barriers/Waste.	13. Digital Production/Operation Tracking (LDS, e-tracking or similar) has been implemented. The operators understand and interact with the system.  There is an explanation for 80% of the 'RED' time (barriers /w aste) for the last 6 month period.  The 3 main causes of waste are discussed in SIMI.	17. The Schneider standard for Digital Production/Operation Tracking is mature and fully deployed throughout all processes  Process management results demonstrate a reduction of the non value added and continuous improvement of the service, quality and efficiency on major processes.	Production (Mfg) Operation (DC) tracking
2. Quality a) Defect/Barrier & Defect/Barrier families have been defined to allow operators to track the quality defects or issues.  b) Scrap and rework are properly identified, contained and treated in less than 1 week.	6. Quality a) Defects, scrap & rework are tracked on cell/sector level barrier logs and & are recorded hourly (or by reasonable event cycle), according to the definition of families.  b) Scrap and Rework are treated daily.	10. Quality a) Process Quality Pareto charts are available for historical defects for each area and counter measures (containment) are conducted within the current shift. Corrective actions have been implemented in response to most frequently occurring quality defect issues.  b) The non quality cost of scrap and rework is measured.  c) The cell leaders and/or operators are empowered to escalate quality risks from his/her cell, and they are in the loop of process change related to his/her cell/sector.	14. Quality: a) Corrective action results include an analysis of recurrence of reasons for quality and scrap/rework. Recurrences should be greatly reduced or eliminated.  b) Scrap and Rework processes are treated by the end of the shift. The non quality cost of scrap and rework are declining.  c) The cell/sector leaders and/or operators make it a habit to escalate quality risks from his/her cell.  The cell/sector leaders are the gate keepers for process changes related to his/her cell/sector.	18. Quality: a) Re-occurrence of process defects is -0- after completion of corrective actions.  b) Scrap and Rework processes are treated continuously (several times per shift).	Quality Tracking
3. Service: Defect & Defect families have been defined to allow operators to track service defects or issues.	7. Service: Issues that may impact service are tracked on cell & sector level barrier logs and & are recorded hourly (or by reasonable event cycle), according to the definition of families.  For DC, TO/Order list is available. Customer order priorities are defined.	11. Service: Service level Pareto charts are available for historical issues for each area and counter measures (containment) are conducted within the current shift. Corrective actions have been implemented in response to most frequently occurring service issues.  For DC, List of order with priorities is available inbound and outbound of the DC (shortages, preshortages, MTS, location delivery, VIP customer , special care unit.....).  For DC, OTDC shows a continuous improvement trend with average improvement better than objective for 6 months or variable results with average improvement better than objective for 12 months.	15. Service: Corrective action results include an analysis of recurrence of reasons for service issues. Recurrences should be greatly reduced or eliminated.  For DC: Able to adapt capacity within the shift  For DC: List of order sorted by priorities and strictly respected  For DC: OTDC show a continuous improvement trend better than objective for 6 months or variable results all better than objective for 12 months.	19. Service: Re-occurrence of process defects is -0- after completion of corrective actions.  For DC: OTDC show a continuous improvement trend better than objective for 12 months or variable results all better than objective for 24 months.	Service Tracking
4. Tracking of efficiency barriers (examples: mechanical issues, parts shortage, power failure, etc...) to objective attainment is implemented per shift by the operators.(barrier log).  Each production/Operation sector is aware of the applicable Efficiency KPIs for that sector (example for MFG: KE, OEE, NEE, SUR, for DC: KE, LE, Transfer Order line/hour) and these are being tracked by shift.	8. Tracking of efficiency barriers to objective attainment is implemented per hour or reasonable event cycle by the operators. (barrier log).  Efficiency 'KE' is tracked at the cell level & waste is noted per shift for all processes.	12. Efficiency: Depending on interval tracking results, countermeasures to manufacturing /operation barriers are conducted within the current shift. Corrective actions have been implemented in response to most frequently occurring manufacturing/operation barriers.  Efficiency for applicable KPIs: KE, OEE, NEE, SUR, LE, Transfer Order Line/hour show a continuous improvement trend with average improvement better than objective for 6 months or variable results with average improvement better than	16. Efficiency: Actions are being completed on time per project plan. Due dates are challenged. Re-occurrence of barriers is tracked to confirm effectiveness of solutions / corrective actions.  Efficiency for applicable KPIs: KE, OEE, NEE, SUR, LE show a continuous improvement trend better than objective for 6 months or variable results all better than objective for 12 months.  With the introduction of Digital Tracking, most KPI calculations are made by the digital system.	20. Efficiency: Recurrences should be greatly reduced or eliminated.  SPS Efficiency for applicable KPIs: KE, OEE, NEE, SUR, LE show a continuous improvement trend better than objective for 12 months or variable results all better than objective for 24 months.  All KPIs are calculated and captured / tracked in the digital system and data analytics are used to predict performance.	Efficiency

Figure 42:Etapes du MM suivi par l'entreprise. Source : Auteurs.

## 8.6 Outils Lean et technologies Industrielles 4.0 utilisées dans l'entreprise SAREL Schneider Electric

Une évaluation de l'application des outils Lean et des technologies de l'I4.0 dans l'entreprise SAREL Schneider Electric est réalisée sur la base des stratégies de l'entreprise pour la mise en œuvre des outils et technologies Lean 4.0. (Tableau 17, et Figure 43 ci-dessous).

Tableau 16: Les outils du LM et les technologies de l'I4.0 utilisés dans l'entreprise SAREL Schneider Electric. Source: SAREL.

Les outils du Lean management	Les technologies de l'I4.0
5S	CPS
AIC (SIM)	Digital Work Instruction – KL2
KPI	E-PFMEA
Problem solving (G8D)	AGV & Smart AGV (Automated Guided Vehicle)
Six sigma	Robotics- Cobots
Customer satisfaction	Virtual reality
Inventory management	Augmented Operator Advisor
Wip reduction	3D Printing
Kaizen	Sensors
Waste reduction	CMMS – Avantis / SAP PM
Versatility management System	
SPC	
POKA YOKE	
SMED	
Kanban	
Andon	
Work instruction	
Data analy	

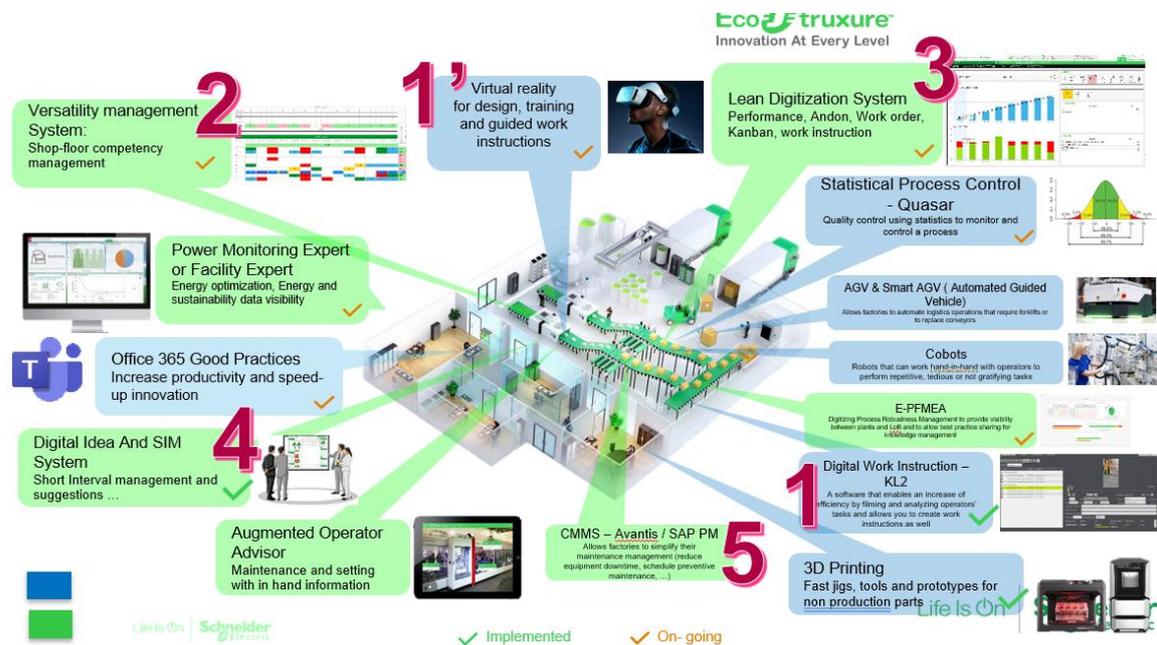


Figure 43: Les outils et les technologies du Lean 4.0 au sein des entreprises. Source : SAREL Schneider Electric.

Sur la base de l'analyse des outils utilisés et prévus pour 2021 au sein de la société SAREL Schneider Electric ([Tableau 17](#)) et ([Figure 43](#)), nous constatons qu'ils utilisent 18 outils de gestion Lean avec 11 technologies de l'Industrie 4.0. Les raisons de la mise en place des outils Lean au sein de l'entreprise sont les suivantes :

1. 5S : Chaque jour, un audit 5S doit être réalisé au début de la journée de travail et chaque mois, le REF (Team Manager) effectue un audit 5S.

2. AIC: Short Interval management and suggestions (SIM). La performance de l'atelier est mesurée heure par heure par chaque opérateur sur la performance des carnets de bord. Les principes "Lean" de ce suivi des performances sont les suivants :

- Langage commun : Vert / Rouge

- Objectifs connus de tous et visualisés dans les ateliers et les services

- Courte fréquence de mesure des performances (heure)

- Recherche systématique des causes de l'écart de performance (recherche basée sur des faits et non sur des impressions). L'objectif de ce suivi des performances est donc de hiérarchiser les actions de progrès en fonction des enjeux ("Pareto").

3. KPI : Pour la gestion des compétences.

4. Résolution de problèmes (G8D) : méthode de résolution de problèmes : pour résoudre les problèmes accidentels et facilement identifiables, analyse rapide basée sur l'expérience du groupe.

5. SIX Sigma : c'est une méthode de résolution de problèmes, pour résoudre un problème multiple et souvent et difficilement identifiable, besoin d'une analyse avancée avec mesure sur le terrain avec un outil statistique.

6. La satisfaction du client : L'approche client (traitement PRR).

7. La réduction de l'essuyage : Pour le pilotage des processus Industriels et logistiques

8. Kaizen : En créant un groupe représentant les différents métiers de l'usine dans lequel tous les acteurs contribuent à atteindre les objectifs suivants sur une courte période de temps (par exemple, TPM sur Remini, 5S, AIC, ...).

9. Réduction des déchets : Dans l'atelier, ils s'engagent à éviter 7 gaspillages (ou "MUDA") de la fabrication Lean.

10. SPC : Contrôle de qualité utilisant des statistiques pour surveiller et contrôler un processus, pour contrôler leurs actifs, du temps réel à la prévention.

11. SMED : En mettant en place un groupe de travail multidisciplinaire, et en analysant toutes les opérations nécessaires au changement de série à effectuer en temps masqué (sans arrêt machine) et/ou à les réduire. Et en utilisant également le KL<sup>2</sup>, comme pour les instructions de travail numériques ou l'analyse rouge/verte.

12. Kanban, Andon, et instruction de travail : c'est une performance de ligne avec OEE, non-qualité, produit en cours, ... c'est un cockpit de production au niveau opérateur où il peut appeler un KANBAN/ANDON/WI.

- La mise en œuvre des technologies Industrielles utilisées dans la société SAREL Schneider a permis la création :

1. L'analyse des données : Un accès facile à l'analyse en temps réel des données propres à son travail pour chaque niveau, et la prise de meilleures décisions, plus rapidement ;

2. CPS : pour protéger leurs actifs EcoStruxure ;

3. Instruction de travail numérique - KL2 : Un logiciel qui permet d'augmenter l'efficacité en filmant et en analysant les tâches des opérateurs et qui permet de créer des instructions de travail ;

4. E-PFMEA : est un logiciel de gestion de la robustesse des processus de numérisation qui permet d'assurer la visibilité entre les usines et le Lob et de partager les meilleures pratiques pour la gestion des connaissances ;

5. AGV & Smart AGV (Automated Guided Vehicle) : Permet aux usines d'automatiser les opérations logistiques qui nécessitent des chariots élévateurs ou de remplacer les convoyeurs ;

6. Robotique : Robots qui peuvent travailler main dans la main avec des opérateurs pour effectuer des tâches répétitives, fastidieuses ou peu gratifiantes ;

7. Réalité virtuelle : pour la conception, la formation et les instructions de travail guidées ;
8. Conseiller d'opérateur amélioré : Maintenance et mise en place avec des informations en main ;
9. Impressions 3D : Gabarits, outils et prototypes rapides pour les pièces de non-production ;
10. Capteurs : Pour connecter les produits, et enfin ;
11. GMAO - Avantis / SAP PM : Permet aux usines de simplifier la gestion de leur maintenance (réduire les temps d'arrêt des équipements, planifier la maintenance préventive...)

A travers les outils et technologies Lean 4.0 utilisés par SAREL Schneider Electric, nous pouvons en déduire qu'elles ont progressé dans l'application du Lean 4.0. D'autre part, cela justifie la cohérence de nos recherches sur l'état de l'art concernant la synergie entre les outils Lean et les technologies Industrielles ; ils ont même fait une étude de maturité concernant la mise en place du Lean 4.0. Cependant, nous constatons qu'il est important de penser à étudier la faisabilité de l'application des autres technologies et outils Lean 4.0 également présentés dans le [Tableau 43](#) et la [Figure 17](#).

### **8.7 Conclusion**

Les résultats de la partie théorique sont bien applicables au sein des organisations, comme nous l'avons vu dans la société internationale SAREL Schneider Electric, dans laquelle nous avons même vérifié la stratégie de déploiement du Lean 4.0. En relation avec cela, nous avons une validation théorique et pratique de la synergie entre les outils de gestion Lean et les technologies Industrielles 4.0. Il est ainsi possible de mettre en évidence les outils Lean qui ont un plus grand potentiel d'amélioration grâce aux technologies I4.0. De plus, nous avons des perspectives de déploiement en relation avec ces résultats.

# CHAPITRE IX : EVALUATION DE L'ADAPTABILITE DES ENTREPRISES EN ALGERIE ET EN FRANCE PENDANT LE COVID-19 EN UTILISANT LE LEAN 4.0

## 9.1 Introduction

En très peu de temps, la pandémie mondiale déclenchée par le nouveau coronavirus « covid-19 » a non seulement fait de nombreuses victimes, mais a également entraîné de graves limitations dans la vie quotidienne, tant privée que professionnelle. Presque toutes les entreprises ont été touchées d'une manière ou d'une autre.

La crise Covid-19 représente un défi d'un nouveau type et d'une nouvelle qualité pour les entreprises. Par conséquent, de nombreuses entreprises ont dû repenser la manière d'adapter nombre de leurs processus et activités à la crise afin de continuer à remplir leur mission tout en maintenant un environnement commercial sûr pour leurs employés et leurs clients. Par exemple, le *Process Improvement Institute* a beaucoup réfléchi à la manière d'adapter les processus et les activités des entreprises afin d'atteindre les résultats souhaités de manière simple et rentable dans les délais impartis (“How Process Improvement Institute is Adapting to the COVID-19 Pandemic,” 2020).

A cet effet, nous avons utilisé les données d'une enquête menée auprès de 120 entreprises algériennes et françaises de tailles et de secteurs différents. Les répondants devaient fournir des réponses en termes de 5 dimensions organisationnelles (stratégie, leadership, culture, opérations et produits, et technologie) dans la crise de la covid-19. L'analyse statistique a été réalisée au moyen d'un test de Spearman rho en utilisant la version 20 de SPSS.

La recherche que nous avons menée offre des implications managériales qui peuvent aider les gestionnaires et les praticiens à mieux comprendre l'adaptabilité organisationnelle des entreprises pendant la covid-19, à comprendre les synergies, les avantages de l'intégration et la mise en œuvre des technologies de l'I4.0 et LM dans les organisations, aussi bien en temps de crise qu'en temps normal. L'évaluation de la capacité d'adaptation des organisations permet d'anticiper les difficultés occasionnelles, de fixer des attentes organisationnelles appropriées et de fournir des lignes directrices pour l'amélioration qui pourraient soutenir certains objectifs organisationnels. Un des objectifs de ce chapitre est également de déterminer l'influence et la corrélation entre les deux productions, les méthodes LM et I4.0,

dans les entreprises. Compte tenu des arguments théoriques et pratiques présentés dans les chapitres précédents, l'hypothèse de cette section est la suivante: Les technologies I 4.0 peuvent être corrélées avec les outils de LM pour affronter la crise du Covid-19.

## **9.2 La présentation de la situation sanitaire du COVID-19**

Le 11 mars 2020, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a déclaré une pandémie de maladie hautement transmissible Covid-19 (coronavirus) (WHO, 2020). Les gouvernements de nombreux pays ont pris des mesures qui affectent considérablement la vie quotidienne des sociétés. Pour ralentir la transmission et la propagation du coronavirus, et pour lutter contre la deuxième vague de covid-19, la tactique de santé publique de la "distanciation sociale" a été largement appliquée. Des régions et même des pays ont été complètement mis à l'écart allant du contact aux limites du couvre-feu.

Suite à la pandémie, les gouvernements ont imposé de sévères restrictions aux entreprises de divers secteurs, ont imposé des distances de protection sociale et sanitaire et ont même verrouillé les entreprises non essentielles dans de nombreux pays (Kraus et al., 2020).

Ces mesures n'affectent pas seulement la vie quotidienne des citoyens, mais ont eu des conséquences économiques importantes dans les économies du monde entier (R. Baldwin & B. Weder di Mauro, 2020). Pour donner un exemple basé sur des données d'enquête d'une économie en crise, l'office statistique français a estimé le 26 mars 2020 que l'économie est actuellement à environ 65% de son niveau normal (del Rio-Chanona, Mealy, Pichler, Lafond, & Farmer, 2020).

La crise covid-19 représente un nouveau type et une nouvelle qualité de défi pour les entreprises. En conséquence, de nombreuses entreprises ont dû repenser la manière d'adapter nombre de leurs processus et activités à la covid-19, afin de continuer à remplir leur mission tout en maintenant un environnement commercial sûr pour leurs employés et leurs clients. Par exemple, le Process Improvement Institute a beaucoup réfléchi à la manière d'adapter les processus et les activités des entreprises pour atteindre les résultats escomptés de manière rationnelle et rentable dans les délais impartis ("How Process Improvement Institute is Adapting to the covid-19 Pandemic," 2020).

Par ailleurs, la recherche sur les résultats des crises se concentre sur différents domaines tels que les effets des adaptations des entreprises, l'apprentissage et la survie dans les situations de crise (Lampel, Shamsie, & Shapira, 2009). En effet, les crises n'ont pas toujours des

implications négatives pour les parties prenantes. La recherche met également en évidence les effets positifs potentiels des crises et des catastrophes. Ces situations aident à stimuler les approches d'innovation et à identifier de nouveaux marchés (Faulkner, 2001).

Dans ce contexte, afin d'évaluer la capacité d'adaptation des entreprises françaises et algériennes par rapport à ces 5 dimensions, d'assurer l'amélioration des processus par l'élimination des gaspillages (7 Mudassas), d'appliquer les outils et les technologies du LM et de l'Industrie 4.0 d'amélioration et d'innovation, mettre en évidence la corrélation entre LM et I 4.0 et de fournir une méthodologie dans le cas de la covid-19, fournir des orientations au Lean et I4.0 (Lean 4.0), nous avons exploité les informations du chapitre de la maturité, qui seront utilisées ultérieurement dans la structure de notre questionnaire. La littérature qui met en corrélation le Lean management et l'I4.0 est peu fournie et ne fait que suggérer une association positive entre ces approches, mais sans les tester empiriquement (Rossini et al., 2019). Le cadre analytique adopté dans ce chapitre est une de ses contributions originales. En plus de sa contribution théorique, notre recherche fournit des implications managériales qui peuvent aider les gestionnaires et les praticiens à mieux comprendre l'adaptabilité organisationnelle des entreprises pendant la covid-19 et à comprendre les synergies et les avantages de l'intégration des technologies de l'I 4.0 dans la mise en œuvre du Lean dans les organisations, aussi bien dans les cas de crise que dans les cas normaux. L'évaluation de l'adaptabilité des entreprises permet d'anticiper les difficultés occasionnelles, et de fixer des attentes appropriées en termes de 5 dimensions, fournissant des lignes directrices pour l'amélioration qui pourraient soutenir certains objectifs organisationnels. La corrélation entre les technologies I 4.0 et les outils SCI a été évaluée.

À cet égard, les technologies I4.0 ont tendance à être fortement associées aux outils de gestion Lean, et peuvent sensibiliser les gestionnaires des performances opérationnelles. De plus, la compréhension de la relation entre ces approches peut améliorer la performance et la production des entreprises, en éliminant les 7 Mudassas.

### 9.2.1 La crise organisationnelle

Covid-19 a atteint des communautés, des entreprises et des organisations dans le monde entier, affectant les marchés financiers et l'économie mondiale. Des réponses gouvernementales non coordonnées et des blocages ont entraîné une perturbation de la chaîne d'approvisionnement.

Les recherches sur l'impact économique des précédentes pandémies ont montré que les pays, les Industries et les entreprises souffrent considérablement des conséquences d'une pandémie mondiale. Cela est dû à un choc simultané de la demande et de l'offre. La demande diminue parce que les consommateurs réduisent leurs achats de biens et de services non essentiels tels que les divertissements et les voyages (Cahyanto, Wiblishauser, Pennington-Gray, & Schroeder, 2016). L'offre est détournée parce que de nombreuses entreprises ne sont tout simplement pas préparées à faire face au phénomène de rupture des chaînes d'approvisionnement (Nicola et al., 2020; Simchi-Levi, Schmidt, & Wei, 2014). En conséquence, de nombreux services et secteurs Industriels ont dû cesser leurs activités (del Rio-Chanona et al., 2020).

### 9.2.2 La capacité d'adaptation des entreprises lors d'une crise organisationnelle

La littérature sur la gestion organisationnelle des crises a pris de nombreuses directions différentes ces dernières années. Elle a adopté différentes perspectives, des réponses stratégiques à une crise (Baron, Harris, & Elliott, 2005), celles-ci incluent des changements surprenants dans un système ou ses parties, une menace pour l'existence des organisations (Witte, 1981), un grand nombre d'acteurs impliqués (Elliott & McGuinness, 2002), une faible probabilité d'occurrence, et un degré élevé d'influence et de temps pour la prise de décision (Hills, 1998). La recherche sur les résultats des crises se concentre sur différents domaines tels que la relation avec les parties prenantes après la crise (Coombs, 2007), ou les effets d'adaptation et d'apprentissage des entreprises et la survie en situation de crise (Lampel et al., 2009).

Les crises peuvent également être perçues de manière positive et conduire à une approche flexible et ouverte de la gestion (Brockner & James, 2008). En général, une crise peut être considérée à la fois d'un point de vue interne et externe. Trois grandes étapes du processus s'appliquent ici : la prévention des crises, la gestion des crises et les résultats après la crise (Kraus et al., 2020). Ces situations contribuent à stimuler les approches d'innovation et à identifier de nouveaux marchés (Faulkner, 2001).

L'ouverture accélérera le processus interne d'amélioration des performances car les organisations et autres types d'institutions visent toujours à améliorer leurs performances. Il s'agit de permettre aux gens de bénéficier des connaissances des autres dans leur entreprise (à l'intérieur), tout en permettant aux autres d'exploiter ses connaissances dans leur entreprise (à l'extérieur). Cela permettra de créer plus d'expérience, de générer plus de connaissances

et d'explorer plus de façons d'appliquer ces connaissances aux entreprises des clients, et c'est également une bonne pratique commerciale à d'autres moments.

La section suivante exploite les dimensions utilisées dans les modèles de maturité présentés dans le chapitre 4 dans la conception de la structure de notre questionnaire. Cependant, les principales conclusions que nous avons tirées des modèles de maturité présentés au chapitre 4, portent davantage sur les dimensions de l'entreprise au niveau de la direction générale, telles que - la stratégie ; - le leadership ; - la culture d'entreprise ; - les ressources humaines ; - la technologie. La plupart des modèles contiennent une dimension "Technologie", mais sa conception diffère d'un modèle à l'autre. En plus de la technologie de l'information, il tend à contenir les technologies de l'information dans une entreprise, telles que - la numérisation des produits ; - la numérisation des processus ; - la gestion numérique.

### **9.3 Méthodologie de la recherche**

Notre recherche à ce niveau consiste en une évaluation de la crise du covid-19, de l'adaptabilité des organisations à cette crise, et en une analyse des modèles de maturité existants applicables pour analyser leurs dimensions les plus mentionnées dans la littérature au chapitre 4. Nous avons suivi les dimensions de la maturité proposées par (Schumacher et al., 2019), (Schrauf, 2016), et (Kolla et al., 2019) pour dégager des sections de l'enquête. En outre, nous avons analysé le plan de continuité des activités "ACP", qui est recommandé pour anticiper l'apparition et/ou la gestion d'une crise en France, et les questionnaires traitant de l'adaptabilité des entreprises au cours de l'enquête covid-19, pour une utilisation ultérieure dans la structure de notre questionnaire.

Notre enquête ayant porté sur 120 entreprises françaises et algériennes, nous avons limité notre échantillon à ces entreprises. Les critères appliqués pour la sélection des répondants ont suivi la méthode probabiliste. En outre, les réponses au questionnaire ont été recueillies auprès des entreprises qui répondaient aux critères de sélection via des formulaires Google au cours des mois de juin, juillet et septembre 2020. L'échantillon ainsi constitué comprenait 98 réponses valides pour un taux de réponse de 81,66 %. Ce taux de réponse est supérieur au taux de réponse moyen de 15 % pour les enquêtes de gestion (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006).

Le questionnaire est structuré en deux parties. La première partie conçue pour recueillir des informations ([Tableau 18](#)). La seconde partie consiste à définir 5 dimensions organisationnelles pour évaluer l'adaptabilité des organisations à la Covid 19 en utilisant LM

et I4.0, en France et en Algérie. Chaque dimension est composée de plusieurs questions. Les dimensions "Produits et opérations" et "Technologie" ont été créées pour évaluer les facilitateurs de base. De plus, les dimensions "Stratégie", "Leadership" et "Culture" permettent d'inclure les aspects organisationnels pendant la crise de la covid-19. Nous nous sommes inspirés des travaux de Kolla et al ,et Schumacher et al en (Kolla et al., 2019) , et (Schumacher et al., 2019), pour développer les questions de chaque dimension.

L'objectif de la dimension stratégique est d'évaluer l'application des étapes de la mise en œuvre du Plan de Continuité d'Activité "ACP" en France, et de mesurer où en sont les entreprises algériennes par rapport à celui-ci, malgré le fait qu'il ne soit pas recommandé en Algérie. Outre l'impact de cette pandémie sur les entreprises en termes de 7 Mudas (déchets), la dimension du leadership, qui est un facteur clé pour créer et renforcer la confiance des employés, vise donc à analyser les problèmes de leadership rencontrés au sein des organisations. La 3ème dimension est la culture, qui vise à évaluer la valeur ajoutée des TIC dans le cas du passage du travail en temps normal au travail virtuel "innovation ouverte et changement", la 4ème dimension concerne la production et les opérations en termes de temps, de coût et de stock, et la 5ème dimension représente les technologies pour mesurer l'application des outils et technologies Lean et l'Industrie 4. 0 au sein des organisations. Le cadre de travail adopté dans ce document est l'une de ses contributions originales. Ensuite, une étude de corrélation entre LM et I 4.0 a été réalisée à l'aide du test rho de Spearman. La version 20 de SPSS a été utilisée pour déterminer la corrélation entre les outils LM et I 4.0. De plus, nous avons testé la fiabilité de toutes les réponses liées aux 5 dimensions organisationnelles pendant la crise de la covid-19 en déterminant leurs valeurs alpha de Cronbach. Un seuil alpha de 0,6 ou plus a été utilisé (Meyers, Gamst, & Guarino, 2006).

Les résultats du coefficient alpha de Cronbach ont indiqué un coefficient de fiabilité de 0,70 (Tableau 19) et par conséquent, la cohérence de la fiabilité interne est satisfaisante.

## **9.4 Résultats de la recherche et discussions**

### 9.4.1 Profil des répondants

L'échantillon présente un nombre équilibré d'entreprises pour chaque variable de fond (Tableaux 18, 19, 20,21 et 22). La plupart des répondants sont de grandes entreprises (49,5 %), la majorité des entreprises sont françaises par rapport à l'accessibilité et la

disponibilité des répondants (chapitre 5) (81,3 %) et la majorité (44,3 %) ont plus de 20 ans d'expérience. Le profil des répondants est constitué en grande partie d'ingénieurs (26,8 %).

Tableau 17: Les années d'expérience. Source : auteurs avec SPSS.

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	< 5 ans	40	40,8	40,8	40,8
	5-10 ans	9	9,2	9,2	50,0
	10-15 ans	3	3,1	3,1	53,1
	15-20 ans	1	1,0	1,0	54,1
	> 20 ans	45	45,9	45,9	100,0
	Total	98	100,0	100,0	

Tableau 18: Les pays des enquêtés. Source : Auteurs

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	France	82	83,7	83,7	83,7
	Algérie	16	16,3	16,3	100,0
	Total	98	100,0	100,0	

Tableau 19: La profession des enquêtés. Source : auteurs.

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	Manager	27	27,6	27,6	27,6
	Conducteur des travaux	1	1,0	1,0	28,6
	Architecte	7	7,1	7,1	35,7
	Ingénieur	28	28,6	28,6	64,3
	It management	2	2,0	2,0	66,3

	Technicien	3	3,1	3,1	69,4
	Stagiaire	14	14,3	14,3	83,7
	Apprenti(e)	16	16,3	16,3	100,0
	Total	98	100,0	100,0	

Tableau 20: Echelle de l'entreprise. Source : auteurs

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	Small	17	17,3	17,3	17,3
	medium	32	32,7	32,7	50,0
	Large	49	50,0	50,0	100,0
	Total	98	100,0	100,0	

Tableau 21: Statistiques de fiabilité - alpha de Cronbach de l'étude de l'échantillon. Source : Contribution des auteurs avec SPSS20.

La fiabilité Alpha Cronbach	
Alpha de Cronbach	Number of éléments
0,704	65

Dans un premier temps, nous avons évalué les 5 dimensions organisationnelles au sein des entreprises en Algérie et en France pendant le covid-19 en donnant la valeur 5 au pourcentage 100%, et de cette façon nous avons pu mesurer le pourcentage de chaque dimension et présenter les 5 dimensions ensemble sous la forme d'un graphique radar pour montrer sur quelles dimensions les organisations se sont concentrées pendant la covid19 (Figure 44).

Le radar montre qu'il y a une concentration importante dans les entreprises sur les opérations et la production avec un pourcentage (47,17%), car cette dimension prend en compte la logistique des produits à l'intérieur et à l'extérieur de l'environnement de l'entreprise, ce qui est très logique car c'est la composante la plus importante dans une entreprise.

La deuxième dimension est la stratégie avec un pourcentage (35,58%). Cette dimension pourrait submerger les entreprises, car elles sont plus susceptibles de se concentrer sur les tactiques et les opérations pour gérer leurs activités quotidiennes. Selon le résultat de cette dimension, nous constatons qu'en France et en Algérie, 64% des entreprises ont accordé de l'importance à l'identification des fonctions clés et du personnel minimum pour maintenir les activités essentielles de leur vie, ce qui justifie l'importance de l'élimination de la valeur ajoutée et de toutes les sources de déchets, et nous constatons que les autres étapes n'ont pas été appliquées dans toutes les entreprises.

Par conséquent, selon les réponses à la deuxième question de même dimension qui est liée aux 7 Mudras rencontrés pendant cette crise covid-19, nous constatons que ces derniers ont généré les 7 types de Mudras au sein des entreprises, et de l'attente en premier lieu avec un pourcentage de 47,2%, suivi par les mouvements inutiles avec 44. 9% de réponses. Ce qui implique que les entreprises françaises doivent mettre en œuvre le PCA " Plan de Continuité d'Activité " en suivant toutes ses étapes préconisées par le Ministère du Travail français, car c'est un outil qui peut répondre aux enjeux de sécurité des salariés et de maintien des activités, y compris en mode dégradé.

En troisième position, nous trouvons la dimension culturelle qui est liée à la gestion du changement en période de crise ou en cas de changements et de risques avec un pourcentage de (33,70%). Ce que justifie la position de leadership avec (28, 73%) (Yue, Men, & Ferguson, 2019) dans leur recherche sur le leadership dans les entreprises américaines. Ils concluent que le leadership et la communication sont les facteurs clés pour créer et renforcer la confiance des employés, ce qui favorise leur acceptation et même leur collaboration dans les processus de changement.

Dans la dernière dimension, nous avons les technologies, où nous avons examiné l'application des outils Lean 4.0 avec (17,99%). Malgré ce pourcentage, nous avons pu appliquer des tests de régression et de Spearman pour mesurer la corrélation entre les outils Lean et les technologies de l'I4.0 que nous présenterons (Figure 44).

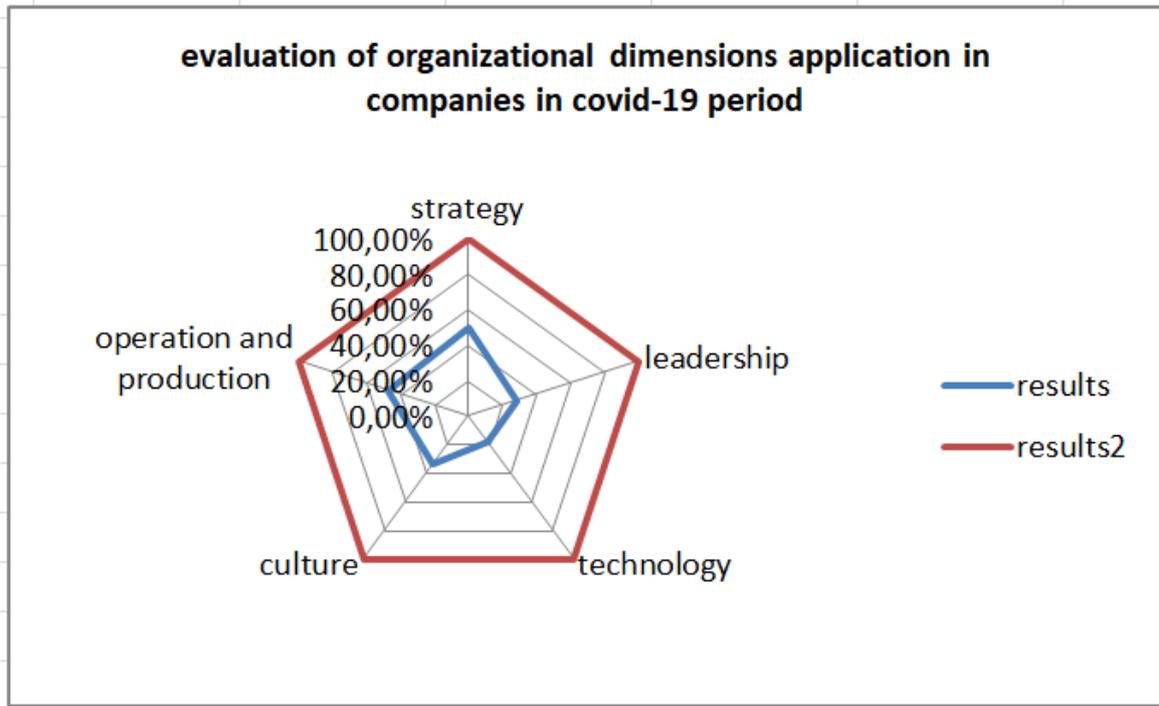


Figure 44: Evaluation de l'applicabilité des dimensions organisationnelles dans les organisations dans la période du covid-19. Source : Contribution des auteurs avec SPSS20.

Aussi, nous avons continué à évaluer la "validité discriminante" en calculant les valeurs du critère de Fornell et Larcker (Fornell & Larcker, 1981), et à prouver la pertinence du modèle structurel. La corrélation la plus élevée a été enregistrée entre l'Industrie 4.0 (I4.0) et la gestion allégée (LM) (0,595), et la corrélation la plus faible a été enregistrée entre LM-LM (0,402). Afin de consolider l'évaluation de la validité discriminante dans la modélisation par équation structurelle basée sur la variance, nous avons utilisé le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT), qui est considéré comme supérieur aux indicateurs précédents (Leeftang, Wieringa, Bijmolt, & Pauwels, 2017), comme critère de Fornell-Larcker et les recouvrements (partiels) (Tableau 23).

Tableau 22: Le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT). Source : la contribution des auteurs.

	<i>HTMTL</i>		<i>Fornell-larcker criterion</i>	
	<b>LM</b>	<b>I4.0</b>	<b>LM</b>	<b>I4.0</b>
<b>LM</b>	-	-	0.402	-
<b>I4.0</b>	0.814	-	0.595	0.441

Les résultats montrent que les valeurs du HTMT étaient inférieures à 0,90 (0,814), ce qui signifie que ce rapport répond aux exigences de Henseler et al. (Sinkovics, Henseler, Ringle, & Sarstedt, 2016).

En résumé, les évaluations des modèles fournissent de bonnes preuves de validité et de fiabilité.

#### 9.4.2 La corrélation de Spearman

La corrélation est une mesure de la relation entre différentes parties ou facteurs et de la force et de la direction de la relation. Dans cette recherche, elle est utilisée pour montrer le degré de concordance entre les outils et les technologies Lean dans l'Industrie 4.0. Le coefficient de corrélation varie entre +1 et -1, où +1 implique une relation positive parfaite (accord), tandis que -1 résulte d'une relation négative parfaite (désaccord). Nous pouvons donc dire que des estimations de corrélation proches de l'unité de grandeur impliquent une bonne corrélation, tandis que des valeurs proches de zéro indiquent une corrélation faible ou nulle. Une corrélation de Spearman rho a été utilisée pour vérifier la corrélation entre les outils de gestion allégée et les technologies 4.0 de l'Industrie, nous avons entrepris des analyses de corrélation partielles (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2014), notre analyse s'est poursuivie avec 15 outils allégés et 15 technologies 4.0 de l'Industrie. Le coefficient de corrélation de Spearman peut prendre des valeurs entre 0 (aucun effet) et 1 (effet parfait) (Lehmann, 1993). Il est également important de discuter si le coefficient est positif ou négatif car il indique la direction de la relation entre les variables (Tableau 24) et (Figure 45).

Par conséquent, Nous pouvons observer que les technologies Industry 4.0 les plus corrélées aux outils de gestion allégée sont : Analyse des données avec : 5S ( $r=0,206$  \* à un niveau de signification de 5%), JIT ( $r=0,226$  \* à Sig=5%), TPM ( $r= 0,224$  \* à Sig=5%), réduction de la configuration (  $r=0,227$  \* à Sig=5%), et contrôle de qualité ( $r=0,204$  \* à Sig=5%). Nous avons également CPS à : JIT ( $r=0,275$  \*\* à un niveau de signification de 1%), TPM (  $r=0,311$  \* à Sig=5%), Jidoka (  $0,380$  \*\* à un niveau de signification de 1%), contrôle de qualité ( $r=0,244$  \* à Sig=5%), fabrication de cellules (  $r=0,221$  \* à Sig=5%), et Heijunka ( $r=0. 235$  \* à Sig=5%), nous avons également trouvé une valorisation humaine liée à : la gestion visuelle ( $r=0,219$  \* à Sig=5%), Jidoka ( $r=0,219$  \* à Sig=5%), WIP ( $r= 0,247$  \* à Sig=5%), et Heijunka (  $r=0,227$  \* à Sig=5%).

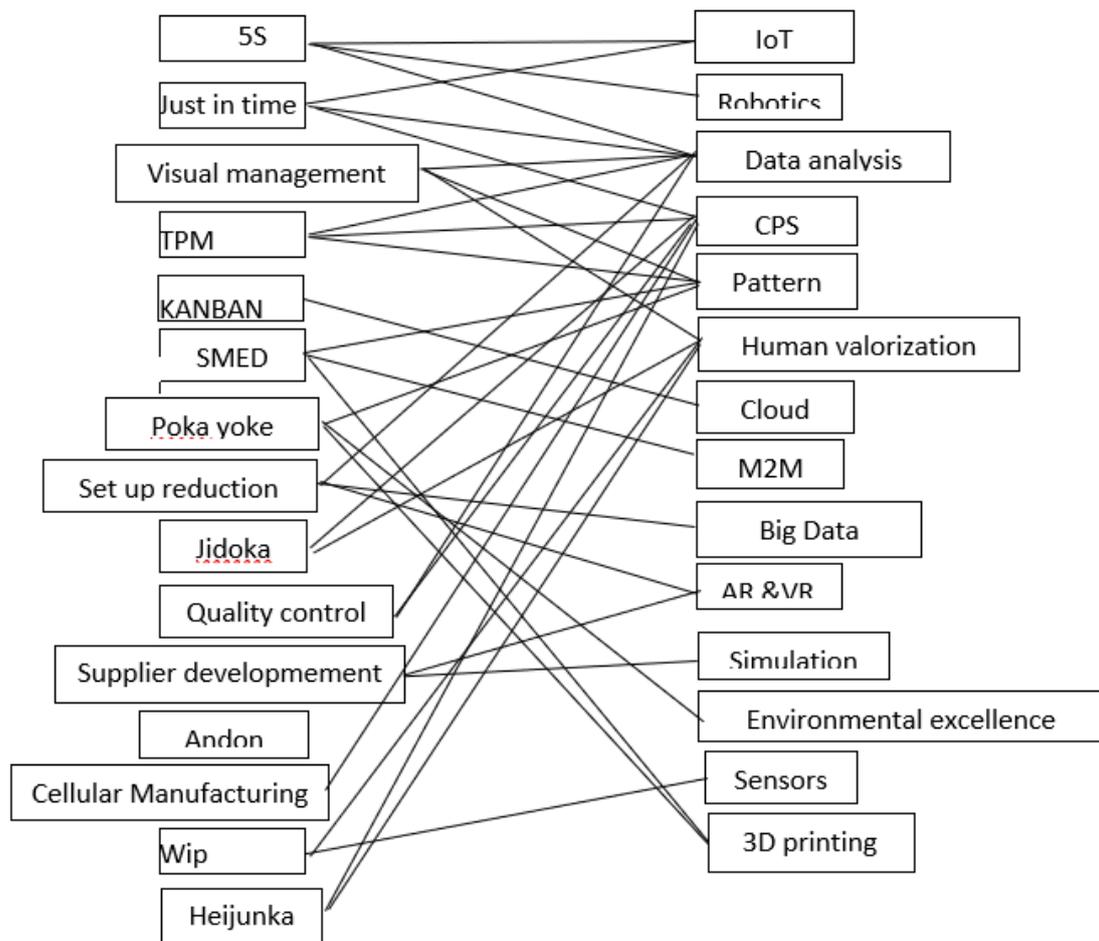


Figure 45: La corrélation entre les outils LM et les technologies du l'I4.0. Source: contribution des auteurs à partir des résultats du questionnaire.

En raison de la concordance relative entre les outils et technologies LM et I4.0, la fiabilité des résultats de cette étude peut être garantie (Tableau 24). (voir annexe D en détail)

Les résultats sont ensuite analysés et nous commençons par tester la colinéarité du modèle de recherche. Nous observons que les valeurs du facteur d'inflation de la variance de l'IVF vont de 1,180 nuage, (à 1,795), à l'impression 3D comme recommandé par Hair et al (Hair et al., 2014). Ces résultats prouvent qu'il n'y a pas de problème de colinéarité interférant avec les outils et technologies de Lean 4.0. Nous avons également interprété le coefficient de détermination ( $R^2$ ),  $f^2$  et  $P$ . Le coefficient de détermination entre 0,25 et 0,50 est considéré comme bon et au-dessus de 0,50 est très bien considéré. La Figure 3 montre les valeurs de  $R^2$ . Les valeurs de référence, qui vont de 0,347 à 0,354.

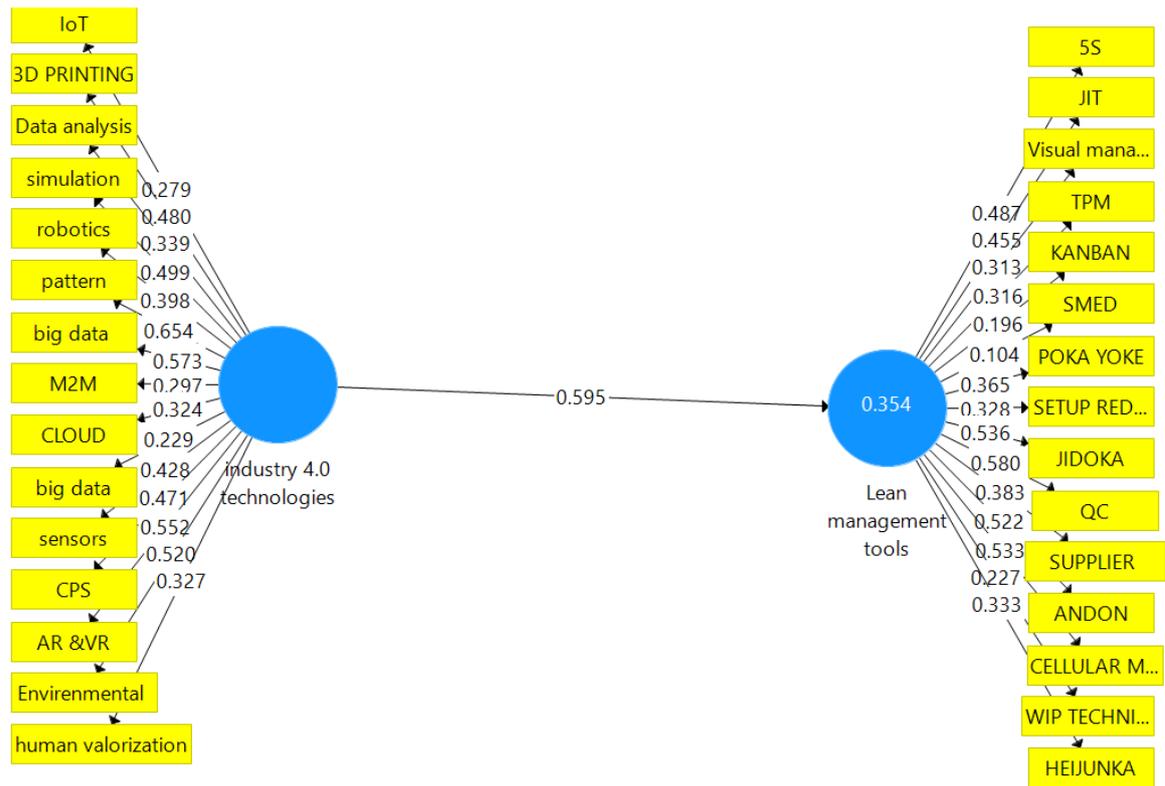


Figure 46: Les coefficients de cheminement du modèle de recherche Lean 4.0 corrélation « path coefficient ». Source : Contribution des auteurs basée sur Smart PLS



Nous avons conclu que tous les outils et technologies Lean et I4.0 sont valables et fiables et nous évaluons les outils de recherche et testons les hypothèses (Tableau 25). Nous avons également testé notre hypothèse avec le paramètre de coefficient et la valeur significative générée à partir des intervalles de confiance corrigés du biais de 82 %.

Les particularités de notre recherche, à ce niveau, lié à la crise pandémique ne nous permettent pas d'affirmer que ces résultats soutiennent les études précédentes, car il existe peu d'études sur les synergies entre Lean et I4.0 qui ont été développées pendant la crise pandémique.

Tableau 24: Path coefficient. Source : Contribution des auteurs basée sur SPSS et PLS intelligent.

Relations	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics ((O/STDEV))	f <sup>2</sup>	p-Values	Confidence Intervals		Conclusion
							2.5%	97.5%	
Industry 4.0 ->Lean management	0.595	0.676	0.085	6.971	0.5	0.000	0.573	0.783	<u>Soutenu</u>

#### 9.4.3 L'analyse de la régression

L'analyse par régression multiple correspond à un modèle prédictif combinant un ensemble de variables indépendantes dans l'ensemble des données et sans tenir compte de la variance commune (valeur de R<sup>2</sup> dans la matrice de corrélation). Nous avons utilisé régression linéaire multiple pour développer un modèle de corrélation prédictif dans le contexte des organisations. (Field, 2013). Comme mentionné précédemment, la corrélation entre Just in time, qui est l'outil le plus corrélé à l'I4.0.

La valeur de R<sup>2</sup> fournit une bonne mesure de la taille substantielle de la relation entre la variable prédictive ou dépendante et les variables indépendantes. Ainsi, le modèle de régression conçu pour mesurer la corrélation entre le Lean management en général comme :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + e$$

où Y est une variable dépendante, a est constant et s'intercepte sur l'axe Y ; b<sub>1</sub> à b<sub>m</sub> sont des coefficients de régression estimés ; X<sub>1</sub> à X<sub>m</sub> sont des valeurs de variables prédictives ou indépendantes, e est l'erreur.

- La régression linéaire multiple a été utilisée pour développer une équation qui décrit la relation entre l'outil du Lean : JIT qui est le plus corrélé aux outils Industriels ; les outils Industriels étaient les variables indépendantes (variables explicatives) et l'outil du Lean : JIT était la variable dépendante (variable expliquée).

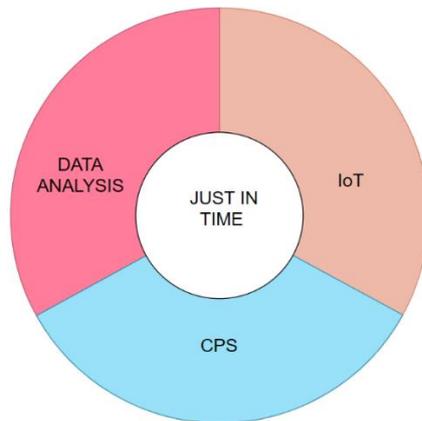
La statistique Fisher calculée était  $F(15,80)=1,546$  et la valeur p trouvée était de  $0,0025 < 0,05$  voir (Tableau 26) ; le modèle est donc significatif au niveau de 95%, c'est-à-dire qu'il existe une forte relation entre l'outil du Lean :JIT et les technologies Industrielles ; cette forte relation est déjà confirmée par le coefficient de régression  $R=0,474$  (voir tableau 9).

- Le coefficient de détermination de cette équation ( $R^2=0,225$ ) indique que les outils de l'Industrie expliquent un pourcentage de 22,5% de "l'utilisation de l'outil Lean" : JIT" (22,5% )de la variation de l'outil Lean : JIT était prévisible à partir des outils de l'Industrie).

- L'équation de la ligne de régression pour le modèle proposé était :

$$Y = -0,259 + 0,208X_1 - 0,016 X_2 + 0,034 X_3 - 0,022X_4 - 0,153X_5 + 0,246X_6 + 0,008X_6 + 0,390X_7 - 0,116X_8 + 0,308X_9 - 0,331X_{10} + 0,055X_{11} - 0,128X_{12} + 0,013X_{13}$$

Où : Y était l'outil Lean : 5S et X1, X2, X13 étaient les technologies de l'Industrie 4.0.



*Figure 47: Corrélation entre le JIT et les technologies INDUSTRY 4.0. Source : Contribution des auteurs basée sur SPSS et PLS intelligent.*

Tableau 25: Régression linéaire entre JIT et les technologies de l'I4.0. Source : Auteurs.

MODELE	R	R2	STD ERROR	R2 change				SIG F CHange	Dur binwatson
				R2 change	F change	Df1	Df2		
1	0.474	0.224	0.079	0.225	1.546	15	80	0.002	1.17 8p

Considéré comme l'un des piliers du TPS, le JIT vise à produire le bon produit, dans la bonne quantité, au bon moment, avec la qualité de fabrication, l'emplacement et les coûts adéquats, sans qu'il soit nécessaire de dresser un inventaire des produits. Cependant, dans le système logistique actuel, les objectifs souhaités ne sont pas toujours atteints en raison de produits incomplets. L'incohérence entre les produits requis et fournis, et les retards imprévus pendant le transport, contribuent à une meilleure performance de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (Sanders et al., 2016).

Selon le [Tableau 26](#) et la [Figure 47](#), les technologies 4.0 peuvent contribuer à atteindre les objectifs de cette démarche, notamment l'application d'Iot, Big Data Analytics et CPS. Cette corrélation assure principalement la flexibilité de la chaîne d'approvisionnement et l'intégration entre les processus, les dispositifs et les parties prenantes.

## 9.5 Conclusion

Cette recherche présente quelques contributions théoriques importantes à l'état de l'art sur la maturité des entreprises pendant la crise de Covid 19. Nous proposons une nouvelle approche pour identifier l'adaptabilité des entreprises dans la crise du covid-19, également basée sur l'intégration des technologies de l'I4.0 et des outils LM, qui corroborent l'amélioration des performances opérationnelles. Une corrélation Spearman rho a été utilisée pour vérifier la corrélation entre 15 outils de LM et 14 technologies de l'I 4.0.

La régression linéaire multiple a également été utilisée pour développer une équation qui décrit la relation entre l'outil Lean : JIT qui est le plus corrélé aux outils de l'Industrie 4.0.

L'importance de notre recherche réside dans l'analyse de l'évaluation de l'adaptabilité des entreprises françaises et algériennes par rapport aux 5 dimensions (stratégie, leadership, culture, fonctionnement et produits, et technologie) pour assurer l'amélioration des processus en éliminant les gaspillages (7 Mudass). Ceci est important car il y a eu peu d'études sur l'adaptabilité des entreprises pendant la covid-19, et en mesurant la corrélation entre les

outils du LM et les technologies I4.0, dont la plupart sont basées sur l'analyse déductive ou inductive dans le cas normal. Du point de vue scientifique, nous avons développé un modèle de maturité pour évaluer l'adaptabilité des entreprises pendant la covid-19. Ce modèle conceptuel nous permet de collecter des données sur l'état d'avancement des entreprises manufacturières de différents secteurs et dans différents pays, afin d'identifier des facteurs de succès supplémentaires pour une Industrie efficace, basée sur les outils LM et I 4.0.

Les outils Lean 4.0 sont de plus en plus utilisés par les chefs d'entreprise car ils commencent à comprendre leur potentiel. En conséquence, le rôle de ces méthodes comme pratiques d'amélioration des processus et de la performance des entreprises sera renforcé par une nouvelle perspective qui met l'accent sur l'importance de leurs mécanismes sur la performance financière des organisations, en particulier en cas de crise.

En conséquence, le rôle de ces méthodes de facteurs en tant que pratiques d'amélioration des processus et de la performance des entreprises sera renforcé par une nouvelle perspective qui met l'accent sur l'importance de leurs mécanismes sur la performance financière des organisations, en particulier en cas de crise.

Les recherches futures doivent mettre en évidence la nécessité de poursuivre les travaux sur l'utilisation des technologies de l'I4.0 pour de nouvelles synergies. Cela permettrait d'obtenir des informations telles que : combien d'auteurs travaillent sur un sujet spécifique, quels pays et institutions sont impliqués, etc. représentés par des scientifiques, quelle est la relation entre les auteurs, les mots clés dans le domaine, etc.

Une autre perspective de recherche serait d'explorer davantage les technologies et les outils de l'I4.0 et d'impliquer les possibilités d'amélioration sur un pilier tel que le développement durable, qui est l'une des perspectives les plus importantes, renforçant ainsi le Green Lean 4.0 dans les organisations comme facteur de performance. Dans le chapitre suivant nous avons testé la corrélation et la maturité du Lean 4.0 au sein des entreprises de construction .

## CHAPITRE X :

### UNE ENQUETE SUR L'ADAPTABILITE ET LA MATURITE LEAN 4.0 DES ENTREPRISES DANS LE CAS NORMAL

#### 10.1 Introduction

Dans la troisième phase de l'étude empirique, une enquête en ligne a été administrée. 170 questionnaires ont été envoyés à plusieurs pays à travers le monde. Le nombre de réponses reçues étant de 76, nous sommes conscients que les professionnels eux-mêmes sont soumis à une grande pression de temps et, par conséquent, beaucoup d'entre eux, bien qu'ayant exprimé un intérêt à participer à cette étude, n'ont pas pu trouver le temps de remplir le questionnaire. Ce questionnaire était long, ce qui a pris environ 15 à 20 minutes pour le remplir. L'utilisation d'une technique non probabiliste pour échantillonner le calcul a été adoptée conformément au guide de (Saunders & Lewis, 2012). Cette technique exige un taux de réponse de 44 %, qui sera adéquat pour l'analyse, conformément à la déclaration de Moser et Katlon (Aibinu & Jagboro, 2002) indiquant que "le résultat d'une enquête peut être considéré comme biaisé et de peu de valeur si le taux de réponse est inférieur à 30%". Le cadre analytique adopté dans ce document est l'une de ses contributions originales.

Les données recueillies par le biais de l'enquête par questionnaire ont été analysées à l'aide du Logiciel SPSS, et SMART PLS. Le questionnaire est structuré comme suit :

- ✚ La première partie a été conçue pour recueillir les informations descriptives ([Tableau 27](#)).
- ✚ La seconde partie consiste à examiner la maturité des entreprises en matière du Lean 4.0 dans le monde par rapport aux 9 dimensions organisationnelles présentées dans le chapitre 4. Chaque dimension est représentée par plusieurs questions. Nous nous sommes inspirés des travaux de Kolla et al. , et Schumacher et al. (Kolla et al., 2019), et (Schumacher et al., 2019) pour développer les questions de chaque dimension. L'objectif de la dimension stratégique est d'évaluer l'application des pratiques qui facilitent le déploiement du Lean 4.0. Le test T a été utilisé pour réaliser la corrélation entre LM et I 4.0 en utilisant le logiciel SPSS version 20 et le SMART PLS. Par la suite, pour catégoriser les corrélations entre Lean et l'Industrie 4.0, la technique de l'analyse factorielle a été appliquée, et enfin une étude de maturité du Lean 4.0 a été réalisée. De plus, nous avons testé la fiabilité de toutes les réponses

relatives aux 9 dimensions organisationnelles en déterminant leurs valeurs alpha de Cronbach, en utilisant un seuil alpha de 0,6 ou plus (Meyers et al., 2006).

Le [Tableau 27](#) présente les variables des dimensions étudiés dans cette enquête : 1. stratégie, 2. leadership, 3. client, 4. Production, 5. opérations, 6. culture, 7. employés, 8. gouvernance, et 9. Technologie, et leurs codes.

## **10.2 Résultats et discussion**

### 10.2.1 Le Profil des répondants

L'échantillon présente un nombre équilibré d'entreprises pour chaque variable de fond ([Tableau 28](#)). La plupart des répondants émanent des grandes entreprises (38,2%) la majorité des entreprises sont algérienne (55,3%) et la majorité (36,8%) ont moins de 20 ans d'expérience. Le profil des répondants est constitué en grande partie d'ingénieurs (32,9%)

Tableau 26: Les variables et leurs codes. Source : auteurs.

1.1	A quel niveau utilisez-vous le SMED "échange de filière(s) en une minute" pour réduire les changements dans vos entreprises ?
1.2	A quel niveau intégrez-vous le concept d'amélioration continue (kaizen)
1.3	A quel niveau mettez-vous en œuvre le nivellement de la production (heijunka)
1.4	A quel niveau avez-vous un modèle de simulation : " La simulation est une méthode éprouvée d'analyse du comportement et de la conception des systèmes, qui permet de mener des expériences numériques à faible coût.
1.5	A quel niveau investissez-vous déjà dans la technologie "Lean et l'Industrie 4.0" ?
1.6	Avez-vous une vision d'agilité face à la demande d'un client tout en maintenant la même qualité de service ?
1.7	A quel niveau votre entreprise participe-t-elle à des projets Lean et Industrie 4.0 avec d'autres organisations ?
1.8	A quel niveau utilisez-vous la feuille de route pour la planification du Lean 4.0 ?
1.9	A quel niveau avez-vous réalisé les ressources disponibles pour la numérisation et l'automatisation intelligente ?
1.10	A quel niveau adoptez-vous le modèle d'entreprise dans votre organisation ? [niveau de maturité]
1.11	A quel niveau avez-vous des installations intelligentes de 4.0 (smart factories) ?
2.1	A quel niveau mesurez-vous la performance de votre entreprise à l'aide des indicateurs clés de performance (KPI) ?
2.2	A quel niveau mettez-vous en œuvre la planification stratégique et les outils de Lean (support du top management) ?
2.3	A quel niveau les employés connaissent-ils clairement la limite de leur autonomie de prise de décision ?
2.4	A quel niveau les employés ont-ils l'autonomie nécessaire pour arrêter les cycles de travail si ceux-ci présentent des problèmes ?
2.5	A quel niveau les employés maîtrisent-ils les outils et les technologies du Lean et de l'Industrie 4.0 ?

1.1	A quel niveau utilisez-vous le SMED "échange de filière(s) en une minute" pour réduire les changements dans vos entreprises ?
2.6	A quel niveau utilisez-vous la technologie des 5S données "Big Data" ?
2.7	A quel niveau avez-vous une coordination centrale pour l'Industrie 4.0 ?
3.1	A quel niveau appliquez-vous la cartographie de la chaîne de valeur dans votre entreprise ?
3.2	A quel niveau votre système actuel est-il conforme aux normes numériques innovantes ?
3.3	A quel niveau utilisez-vous les données sur les clients (c'est-à-dire l'analyse) : orientation du service ?
3.4	A quel niveau utilisez-vous la digitalisation dans les services ?
4.1	A quel niveau analysez-vous les heures de travail des employés de l'entreprise par unité de production ?
4.2	A quel niveau analysez-vous la non-valeur ajoutée par unité produite ?
4.3	A quel niveau analysez-vous la distance entre le temps d'attente "retard" et le temps estimé pour la livraison du produit ?
4.4	A quel niveau intégrez-vous l'individualisation des produits (personnalisation) ?
4.5	A quel niveau utilisez-vous la connexion internet des services ?
4.6	A quel niveau utilisez-vous la digitalisation des produits ?
5.1	A quel niveau intégrez-vous la standardisation dans votre organisation ?
5.2	A quel niveau utilisez-vous l'horizon et la verticale de tous les systèmes sociotechniques de l'entreprise ?
5.3	A quel niveau existe-t-il une collaboration interdisciplinaire et interservices dans votre entreprise ?
5.4	A quel niveau se situe la décentralisation des processus dans votre entreprise ?]
5.5	A quel niveau utilisez-vous la modélisation et la simulation dans votre entreprise ?
6.1	A quel niveau existent-t-ils des caractéristiques spécifiques qui entravent la transformation vers le Lean et l'Industrie 4.0 dans l'entreprise ?

1.1	A quel niveau utilisez-vous le SMED "échange de filière(s) en une minute" pour réduire les changements dans vos entreprises ?
6.2	A quel niveau existe-t-il une culture qui favorise l'implication des gens ?
6.3	A quel niveau existe-t-il un partage des connaissances et de compétences dans votre organisation ?
6.4	A quel niveau existe-t-il une innovation ouverte et une collaboration interentreprises ?
6.5	A quel niveau les technologies de l'information et de la communication sont-elles avantageuses dans votre organisation ?
7.1	A quel niveau de formation vous situez-vous par rapport aux outils et aux méthodes Lean comme les 5S, la qualité et la standardisation ?
7.2	A quel niveau mesurez-vous les compétences des employés en matière de TIC ?
7.3	A quel niveau mesurez-vous la qualité des employés ?
7.4	A quel niveau pensez-vous que la majorité des Is est au courant de l'impression 3D ?
7.5	A quel niveau l'organisation opère-t-elle en utilisant le Smart sécurité ?
7.6	A quel niveau l'organisation est-elle sensibilisée au cyber sécurité par des employés et les informaticiens ?
7.7	A quel est votre niveau de formation en matière de capteurs intelligents, de technologies numériques, d'analyse des données, etc.
8.1	A quel niveau l'organisation a-t-elle plusieurs fournisseurs ?
8.2	A quel niveau l'organisation applique-t-elle la protection de la propriété intellectuelle ?
8.3	A quel niveau l'organisation applique-t-elle l'invocation de toutes les parties (propriété) ?
8.4	A quel niveau l'organisation applique-t-elle Le système de management environnemental qui vise à améliorer les pratiques environnementales standard dans le monde entier.
8.5	A quel niveau l'organisation a-t-elle une communication claire ?
8.6	A quel niveau l'organisation applique-t-elle les normes d'aptitude et les normes technologiques ?

1.1	A quel niveau utilisez-vous le SMED "échange de filière(s) en une minute" pour réduire les changements dans vos entreprises ?
9.1	A quel niveau utilisez-vous l'intégration verticale du réseau d'entreprise, par exemple pour la planification des ressources de l'entreprise (ERP), la planification, la prévision et le réapprovisionnement collaboratifs (CPFR)
9.2	A quel niveau utilisez-vous des appareils mobiles ?
9.3	A quel niveau utilisez-vous la communication de machine à machine ?
9.4	A quel niveau utilisez-vous la technologie des nuages "Cloud"?
9.5	A quel niveau utilisez-vous les mesures et le système de mesure ?
9.6	A quel niveau disposez-vous de TIC modernes ?
9.7	A quel niveau utilisez-vous l'outil de fabrication additive ?
9.8	A quel niveau utilisez-vous les robots ?

Tableau 27: le profil des répondants. Source: Auteurs.

<i>Echelle</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>Pourcentage valide</i>	<i>Pourcentage cumulé</i>
petite	21	27,6	27,6	27,6
moyenne	26	34,2	34,2	61,8
grande	29	38,2	38,2	100,0
Total	76	100,0	100,0	
<b>Année d'expérience</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Pourcentage</b>	<b>Pourcentage valide</b>	<b>Pourcentage cumulé</b>
<5 ans	28	36,8	37,3	37,3
5-10ans	17	22,4	22,7	60,0
10-15ans	5	6,6	6,7	66,7
15-20ans	5	6,6	6,7	73,3
> 20 ans	20	26,3	26,7	100,0
Total	76	100	100,0	
<b>Pays d'organisation</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Pourcentage</b>	<b>Pourcentage valide</b>	<b>Pourcentage cumulé</b>
Algérie	42	55,3	55,3	55,3
japon	8	10,5	10,5	65,8
la Turquie	4	5,3	5,3	71,1
France	1	1,3	1,3	72,4
Vietnam	1	1,3	1,3	73,7

<i>Echelle</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>Pourcentage valide</i>	<i>Pourcentage cumulé</i>
Belgique	1	1,3	1,3	75,0
USA	1	1,3	1,3	76,3
KSA	6	7,9	7,9	84,2
Italie	1	1,3	1,3	85,5
UAE	2	2,6	2,6	88,2
Egypt.	1	1,3	1,3	89,5
Maroc	1	1,3	1,3	90,8
Soudan	2	2,6	2,6	93,4
Tunisie	1	1,3	1,3	94,7
Kuwait	1	1,3	1,3	96,1
Allemagne	3	3,9	3,9	100,0
Total	76	100,0	100,0	
<b>Profession des répondants</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Pourcentage</b>	<b>Pourcentage valide</b>	<b>Pourcentage cumulé</b>
ingénieur	25	32,9	32,9	32,9
manager	24	31,6	31,6	64,5
conducteur des travaux	19	25,0	25,0	89,5
entrepreneur	5	6,6	6,6	96,1
Architecte	2	2,6	2,6	98,7

<i>Echelle</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>Pourcentage valide</i>	<i>Pourcentage cumulé</i>
apprenti	1	1,3	1,3	100,0
Total	76	100,0	100,0	

### 10.3 L'approche analytique: La maturité Lean 4.0 des entreprises par rapport aux 5 dimensions organisationnelles

Dans cette étape nous avons analysé, les aspects tels que la maturité globale des 9 dimensions de maturité et la maturité globale des 59 éléments. En utilisant les résultats statistiques et les données supplémentaires recueillies à partir des informations des étapes 1 et 2, nous avons élaboré un rapport de maturité du Lean 4.0 des entreprises pour valider le modèle afin d'en tirer les outils nécessaires d'évaluation de la maturité, ce qui a permis d'obtenir les résultats de l'évaluation de la maturité dans les entreprises. Les échelles de notation basés sur l'échelle de Likert allant de 0 à 6 ; "1" étant la note la plus basse possible à "6" étant le score le plus élevé possible.

Dans cette étape, le niveau de maturité (MM) de chaque dimension résulte du calcul de la moyenne pondérée de toutes les échéances ( $M_{Dii}$ ) dans sa dimension connexe. Le facteur de pondération ( $g_{Dii}$ ) est égal à la note d'importance moyenne de l'ensemble des 76 répondants pour chaque point. Le niveau de maturité est calculé en utilisant la formule suivante :

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Dii} * g_{Dii}}{\sum_{i=1}^n g_{Dii}}$$

*M...Maturity*  
*D...Dimension*  
*I...Item*  
*g...Weighting Factor*  
*n...Number of Maturity Item*

Comme les modèles de maturité ont tendance à échouer s'ils sont trop complexes qui est une pratique non applicable. Les réponses du questionnaire sont traitées dans un logiciel. Une analyse de la maturité a été établis, et qui décrit tous les niveaux des neuf dimensions voir (Tableau 29). Afin d'évaluer et de tester l'utilité pratique de notre modèle MM Lean 4.0, nous avons mené une étude quantitative dans 76 entreprises de construction. Pour garantir l'exactitude des résultats, nous avons choisi une organisation qui est déjà engagée dans le Lean 4.0 qui sera une référence de base pour infirmer ou confirmer le modèle ainsi proposé. Les résultats de cette étude de cas sont présentés dans le chapitre 7.

Après l'obtention des résultats de l'évaluation (Figure 48), les réponses ont ensuite été insérées dans l'outil logiciel permettant de calculer les niveaux de maturité et de créer le rapport de maturité.

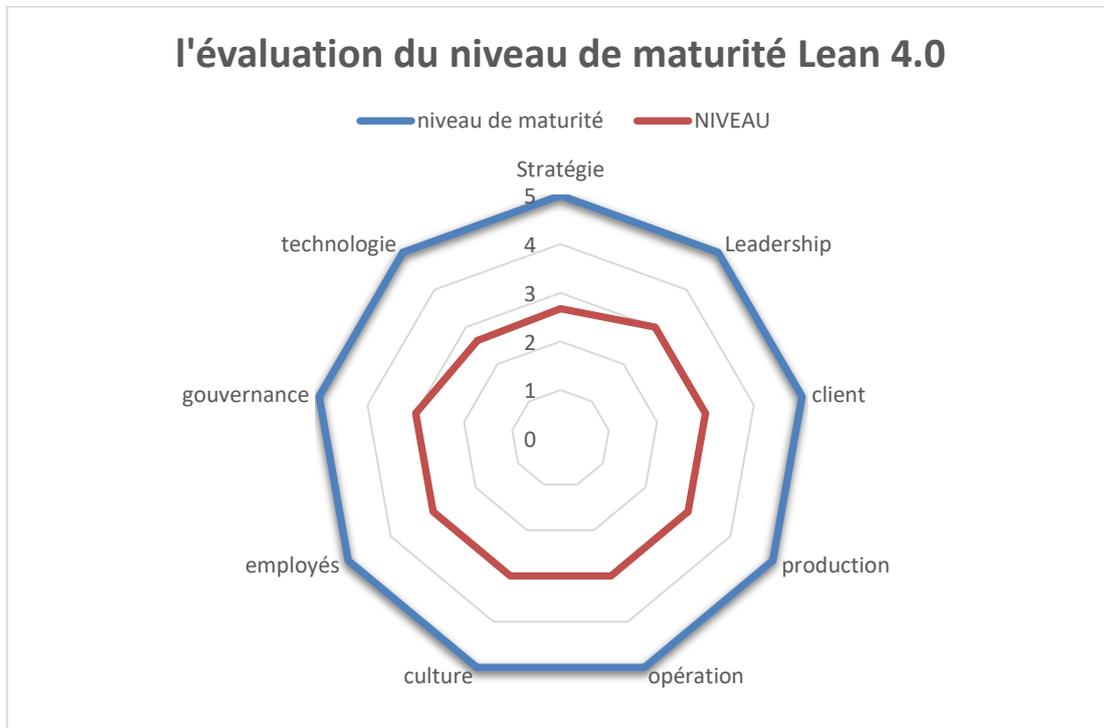


Figure 48: Evaluation du niveau de maturité Lean 4.0. source: Auteurs.

Les 9 dimensions organisationnelles ont été évaluées en utilisant modèle de niveau avec des échéances entre 0 et 5.

Elle est principalement due à l'absence d'utilisation d'une feuille de route pour le Lean 4.0 ainsi que la communication manquante et la documentation des activités du Lean 4.0. Le niveau de maturité élevé et égal à 3 dans toutes les dimensions, sauf les dimensions stratégie et technologies, et produits voir (Figure 48 et Tableau 29).

Afin d'améliorer la compréhension du système du modèle, l'évaluation et le calcul de la dimension n° 1 appelée "Stratégie" sont présentés en détail (Figure 49).

Une fois la maturité des 9 dimensions est déterminée, la maturité de la dimension "Stratégie" est présentée en détail (Figure 49), donnant ainsi un niveau de maturité de 2,7 sur 6 comme suit voir (Tableau 29):

M1/1 (L'utilisation du SMED)= 2, ( $g_{1/i}$ ) = 1,8816

M1/2 (L'utilisation du kaizen)= 3, ( $g_{2/i}$ )= 2,0933.....M1/11.

$$M_{\text{stratégie}} = (2 * 1,8816 + 3 * 2,0933 + 3 * 2,0658 + 2 * 1,92 + 2 * 1,9079 + 3 * 2,4605 + 3 * 2,0921 + 2 * 1,7237 + 3 * 2,1447 + 3 * 2,3553 + 2,1447 * 3) / (1,8816 + 2,0933 + 2,0658 + 1,92 + 1,9079 + 2,4605 + 2,0921 + 1,7237 + 2,1447 + 2,3553 + 2,1447) = 2,67383368.$$

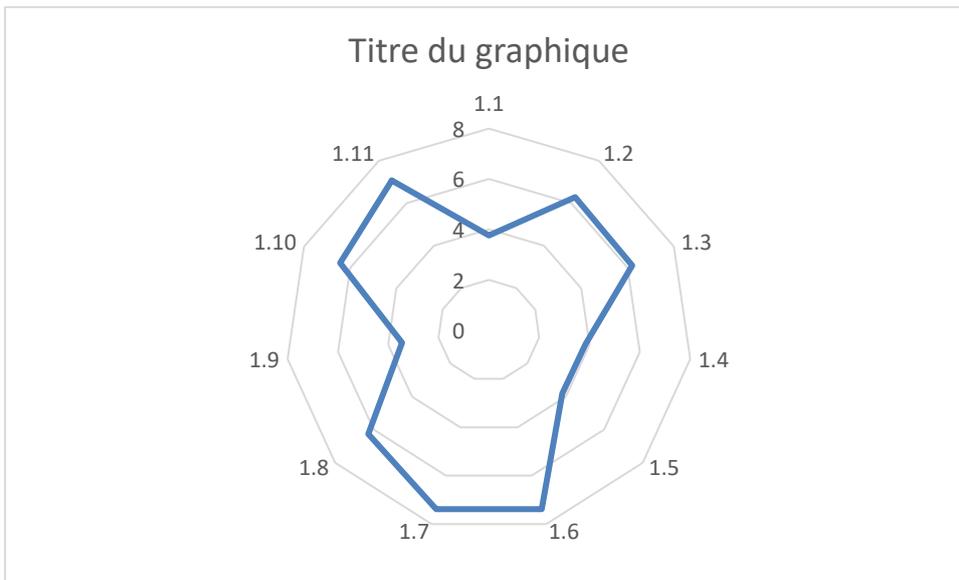


Figure 49: Evaluation de la maturité Lean 4.0 dans la dimension stratégie source: Auteurs.

Tableau 28: Résultats de la maturité Lean 4.0 des 9 dimensions. source : Auteurs avec SPSS.

<i>Stratégie</i>					
	<b>Moyenne</b>	<b>Niveau</b>	<b>Moy*Niv</b>		
1.1	1,8816	2	3,7632		
1.2	2,0933	3	6,2799		
1.3	2,0658	3	6,1974		
1.4	1,92	2	3,84		
1.5	1,9079	2	3,8158		
1.6	2,4605	3	7,3815		
1.7	2,0921	3	6,2763		
1.8	1,7237	2	3,4474		
1.9	2,1447	3	6,4341		

*Stratégie*

1.10	2,3553	3	7,0659		
1.11	2,1447	3	6,4341		
<b>Somme</b>	<b>22,7896</b>	/	<b>60,9356</b>	<b>M1</b>	<b>2,67383368</b>
<b>Leadership</b>					
2.1	2,5132	3	7,5396		
2.2	2,4474	3	7,3422		
2.3	2,4737	3	7,4211		
2.4	2,2895	3	6,8685		
2.5	2,0526	3	6,1578		
2.6	2,3816	3	7,1448		
2.7	2,3026	3	6,9078		
<b>somme</b>	<b>16,4606</b>	/	<b>49,3818</b>	<b>M2</b>	<b>3</b>
<b>Client</b>					
3.1	2,2105	3	6,6315		
3.2	2,3158	3	6,9474		
3.3	2,4211	3	7,2633		
3.4	2,2267	3	6,6801		
<b>Somme</b>	<b>9,1741</b>	/	<b>27,5223</b>	<b>M3</b>	<b>3</b>
<b>Produit</b>					
4.1	2,59	3	7,77		
4.2	2,28	3	6,84		
4.3	2,18	3	6,54		
4.4	2,17	3	6,51		
4.5	2,36	3	7,08		
4.6	2,1842	3	6,5526		
<b>Somme</b>	<b>13,7642</b>	/	<b>41,2926</b>	<b>M4</b>	<b>3</b>
<b>Opération</b>					
5.1	2,46	3	7,38		
5.2	2	3	6		
5.3	2,2	3	6,6		
5.4	2,33	3	6,99		
5.5	2,37	3	7,11		
<b>Somme</b>	<b>11,36</b>	/	<b>34,08</b>	<b>M5</b>	<b>3</b>
<b>Culture</b>					
6.1	2,08	3	6,24		
6.2	2,34	3	7,02		
6.3	2,62	3	7,86		
6.4	2,42	3	7,26		
6.5	2,63	3	7,89		
<b>Somme</b>	<b>12,09</b>	/	<b>36,27</b>	<b>M6</b>	<b>3</b>
<b>Employé</b>					
7.1	2,17	3	6,51		
7.2	2,16	3	6,48		
7.3	2,42	3	7,26		

### *Stratégie*

7.4	2,34	3	7,02		
7.5	2,13	3	6,39		
7.6	2,33	3	6,99		
7.7	2,26	3	6,78		
<b>Somme</b>	<b>15,81</b>	/	<b>47,43</b>	<b>M7</b>	<b>3</b>
<b>Gouvernance</b>					
8.1	2,55	3	7,65		
8.2	2,32	3	6,96		
8.3	2,32	3	6,96		
8.4	2,28	3	6,84		
8.5	2,61	3	7,83		
8.6	2,45	3	7,35		
8.7	2,42	3	7,26		
<b>Somme</b>	<b>16,95</b>	/	<b>50,85</b>	<b>M8</b>	<b>3</b>
<b>Technologie</b>					
9.1	2,76	3	8,28		
9.2	2,47	3	7,41		
9.3	2,26	3	6,78		
9.4	2,39	3	7,17		
9.5	1,99	2	3,98		
9.6	1,99	2	3,98		
9.7	1,57	2	3,14		
<b>Somme</b>	<b>15,43</b>	/	<b>40,74</b>	<b>M9</b>	<b>2,64031108</b>

#### 10.3.1 Test statistique des questionnaires

Afin de vérifier les résultats du questionnaire, nous avons effectué un test T. Ce test est couramment utilisé pour affirmer la correspondance des moyennes des échantillons avec celle de la population cible, ou pour tester la différence statistique entre la moyenne de l'échantillon et le point médian de la variable test. Ainsi, pour connaître le niveau d'importance des 59 questions dans les 9 dimensions organisationnelles identifiés, nous avons utilisé la moyenne de 3 ( 6 niveaux/2).

Nous pouvons appliquer la méthode statistique des tests le cadre de cette étude si :

- Les 9 dimensions ont un impact élevé sur l'effet X, si la valeur p est inférieure à 5% ;
- Le point relatif de la haute importance était supérieur à 3 ;

- Le plus important est que la moyenne des dimensions se situait dans l'intervalle de confiance.

Les résultats du [Tableau 31](#) montrent que la valeur p est inférieure à 5 % et que les différences moyennes des questions se situent dans l'intervalle de confiance, de sorte que les résultats du questionnaire peuvent être utilisés et généralisés.

### 10.3.2 La Fiabilité du questionnaire

L'alpha de Cronbach a été mesuré pour tester la fiabilité du questionnaire et pour déterminer la cohérence interne de 31 éléments. Selon Santos et Reynaldo (Santos, 1999), une valeur alpha de Cronbach supérieure à 0,7 implique que l'instrument est acceptable ; comme indiqué dans le [Tableau 30](#), la valeur du alpha de Cronbach est de 0,896, ce qui garantit la cohérence interne et la bonne fiabilité du questionnaire.

[Tableau 29](#): Test alpha Cronbach Source : Auteurs avec SPSS.

#### *Statistiques de fiabilité*

Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,983	59

### 10.3.3 Évaluation des dimensions organisationnelles à travers l'indice d'importance relative RII

Les pratiques des 9 dimensions organisationnelles ont été classées selon leur indice d'importance relative (RII), et le classement des 59 pratiques est donné dans l'annexe E, tandis que le [Tableau 31](#) extrait les 9 meilleures pratiques des 9 dimensions organisationnelles (stratégie, leadership, client, opérations, produits, culture, employés, gouvernance, et technologie).

Une vision d'agilité face à la demande d'un client tout en maintenant la même qualité de service est classée la première question selon les répondants comme étant la pratique la plus importante considérée du point de vue de la stratégie avec un RII 2,4605. Dans ce contexte, avant d'essayer d'initier l'agilité de l'entreprise, développer une vision claire de ce à quoi l'organisation ressemblera ou comment elle fonctionnera différemment une fois le changement en place. Cette vision doit inclure le but du changement ; par exemple,

améliorer l'agilité de la livraison des produits, afin qu'ils puissent apporter plus rapidement une plus grande valeur aux clients.

Le modèle d'entreprise est la deuxième pratique importante d'après les répondants à ce sondage avec un RII de 2,3553, qui est un élément très important dans n'importe quelle entreprise dans la mesure où, par ce biais, nous serons en mesure d'apporter les changements souhaités, en donnant une plus grande autorité aux chefs de projet.

La dimension Leadership la pratique la plus importante est celle des KPI (key performance indice) ou indicateurs clés de la performance avec un RII de 2,51. Il est proposé d'intégrer le système des KPI dans le système de gestion de l'entreprise. Les KPI sont un outil permettant de préciser et de faire connaître la stratégie commerciale à chaque service et leur employé par le biais d'un mécanisme de motivation de chaque employé pour atteindre cet objectif. Une typologie des options du système KPI est basée sur les ressources nécessaires pour développer et mettre en œuvre un tel système. Il a été prouvé que le système de motivation basé sur le KPI est un outil permettant d'atteindre les objectifs à long et à court terme dans l'entreprise.(Gato et al., 2020).

La technologie la plus importante de la dimension client est en effet l'orientation du service avec RII 2.42. Elle est une technologie de l'Industrie 4.0 (voir chapitre 2). Dans le contexte de l'orientation des services de l'Industrie 4.0, la version 4.0 fait principalement référence aux concepts de Manufacturing as a Service (MaaS) et aux activités produit-services (PaaS). Les produits sont fournis sous forme de service ou d'expérience virtuelle, et au lieu d'être fournis sous forme de service ou virtuelle avec un seul paiement initial, les clients s'abonnent au produit et payent une redevance récurrente sur une base perpétuelle par résultat.

La pratique la plus utilisée pour assurer le succès des opérations est en effet la standardisation des processus qui est pour de nombreuses entreprises une question d'importance stratégique. La standardisation des processus permet aux entreprises de fournir une qualité constante aux clients et de réaliser des retours d'échelle. Les travaux de recherche dans ce domaine ont examiné comment la normalisation des processus influant sur les résultats des processus, tels que le temps de cycle, la qualité et les coûts. Le RII pour cette pratique est 2,46.

Le temps réel est la meilleure pratique de la dimension production avec RII ou la collecte de données n'a aucun sens si elle n'est pas analysée en temps réel (juste à temps) (Niya et al., 2020). Une usine intelligente doit être capable de collecter des données en temps réel, de les stocker ou de les analyser, et de prendre des décisions en fonction des résultats. Les auteurs

ont constaté que le désir humain d'améliorer le contrôle et de permettre la mesure des performances en temps réel est un moteur important de l'Industrie 4.0, au même titre que les facteurs de production.

Les technologies de l'information et de la communication sont les plus importantes dans la dimension culture avec RII 2,63, Gutierrez et al (Gutierrez, 2020) montrent que le développement et la rétention des travailleurs immigrés des TIC ont contribué à transformer la culture organisationnelle.

La dimension travailleurs 'employés' la pratique la plus importante est la qualité des employés avec RII 2,42, ce qui est conforme à l'étude réalisée par (Samadara, 2020), ils ont prouvé que le succès des services n'est pas seulement déterminé par les qualités physiques et le soutien des facilités offertes pour la satisfaction des clients, mais aussi par la qualité de leur employés. Ceci est important, car des employés de qualité sont des atouts essentiels dans une entreprise (Samadara, 2020).

Pour les technologies les plus utilisées au sein des organisations travaillent les répondants, sont les appareils mobiles avec un RII égal à 2,76. L'introduction et la vulgarisation des nouvelles technologies digitales, telles que les appareils mobiles, les réseaux sociaux, l'Internet des objets, les Big Data et le Cloud, ont incité les organisations dans pratiquement tous les secteurs à engager de nombreuses initiatives afin d'explorer et d'exploiter les avantages de ces technologies (Grayson & Anderson, 2018). Cela suppose fréquemment des changements externes axés sur le client et des changements internes axés sur les services et les processus, ou même sur les modèles commerciaux. Ainsi, la société dans son ensemble est soumise à un changement rapide et radical en raison de la maturation des technologies numériques et de leur large pénétration sur tous les marchés (Ghobakhloo, 2020).

Tableau 30: Les valeurs du T test. Source : Auteurs.

<i>Valeur de test = 3</i>						
	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Intervalle de confiance 95 %	
					Inférieur	Supérieur
1.1	-8,053	75	,000	-1,11842	-1,3951	-,8418
1.2	-6,057	74	,000	-,90667	-1,2049	-,6084
1.3	-6,033	75	,000	-,93421	-1,2427	-,6257
1.4	-7,985	74	,000	-1,08000	-1,3495	-,8105
1.5	-7,454	75	,000	-1,09211	-1,3840	-,8002
1.6	-3,211	75	,002	-,53947	-,8742	-,2048
1.7	-5,162	75	,000	-,90789	-1,2583	-,5575
1.8	-10,203	75	,000	-1,27632	-1,5255	-1,0271
1.9	-6,289	75	,000	-,85526	-1,1262	-,5844
1.10	-4,153	75	,000	-,64474	-,9540	-,3354
1.11	-5,766	75	,000	-,85526	-1,1507	-,5598
2.1	-2,827	75	,006	-,48684	-,8298	-,1438
2.2	-3,516	75	,001	-,55263	-,8657	-,2395
2.3	-3,446	75	,001	-,52632	-,8306	-,2221
2.4	-4,748	75	,000	-,71053	-1,0086	-,4124
2.5	-7,308	75	,000	-,94737	-1,2056	-,6891
2.6	-3,370	75	,001	-,61842	-,9840	-,2529
2.7	-4,449	75	,000	-,69737	-1,0096	-,3851
3.1	-4,732	75	,000	-,78947	-1,1218	-,4571
3.2	-4,489	75	,000	-,68421	-,9878	-,3806
3.3	-4,196	75	,000	-,57895	-,8538	-,3041
3.4	-5,234	74	,000	-,77333	-1,0677	-,4789

*Valeur de test = 3*

	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Intervalle de confiance 95 %	
					Inférieur	Supérieur
4.1	-2,618	75	,011	-,408	-,72	-,10
4.2	-4,414	75	,000	-,724	-1,05	-,40
4.3	-5,999	75	,000	-,816	-1,09	-,54
4.4	-5,842	75	,000	-,829	-1,11	-,55
4.5	-4,382	75	,000	-,645	-,94	-,35
4.6	-6,056	75	,000	-,81579	-1,0841	-,5475
5.1	-3,481	75	,001	-,539	-,85	-,23
5.2	-6,892	75	,000	-1,000	-1,29	-,71
5.3	-6,059	75	,000	-,803	-1,07	-,54
5.4	-4,364	75	,000	-,671	-,98	-,36
5.5	-4,433	75	,000	-,632	-,92	-,35
6.1	-6,257	75	,000	-,921	-1,21	-,63
6.2	-4,338	75	,000	-,658	-,96	-,36
6.3	-2,748	75	,008	-,382	-,66	-,10
6.4	-3,949	75	,000	-,579	-,87	-,29
6.5	-2,202	74	,031	-,373	-,71	-,04
7.1	-5,558	75	,000	-,829	-1,13	-,53
7.2	-6,059	75	,000	-,842	-1,12	-,57
7.3	-4,275	75	,000	-,579	-,85	-,31
7.4	-4,406	75	,000	-,658	-,96	-,36
7.5	-5,489	75	,000	-,868	-1,18	-,55
7.6	-4,332	75	,000	-,671	-,98	-,36
7.7	-5,239	75	,000	-,737	-1,02	-,46
8.1	-2,953	75	,004	-,447	-,75	-,15
8.2	-4,669	75	,000	-,684	-,98	-,39
8.3	-5,007	75	,000	-,684	-,96	-,41

<i>Valeur de test = 3</i>						
	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Intervalle de confiance 95 %	
					Inférieur	Supérieur
8.4	-4,473	75	,000	-,724	-1,05	-,40
8.5	-2,696	75	,009	-,395	-,69	-,10
8.6	-3,492	75	,001	-,553	-,87	-,24
9.1	-3,611	75	,001	-,579	-,90	-,26
9.2	-1,372	75	,174	-,237	-,58	,11
9.3	-3,113	75	,003	-,526	-,86	-,19
9.4	-4,361	75	,000	-,737	-1,07	-,40
9.5	-3,833	75	,000	-,605	-,92	-,29
9.6	-6,442	75	,000	-1,013	-1,33	-,70
9.7	-6,788	75	,000	-1,013	-1,31	-,72
9.8	-12,702	75	,000	-1,434	-1,66	-1,21

Les données recueillies ont été analysées à l'aide de l'indice d'importance relative (RII), comme indiqué par de nombreux chercheurs.

$$RII = \frac{\sum an}{N} \quad (9.1)$$

Où :

an :est une constante qui exprime le poids donné à chaque question, varie de 0 à 5. Elle est la fréquence de réponse. Et est le nombre total de répondants.

Tableau 31: Indices d'importance relative RII des pratiques les plus importantes de chaque dimension organisationnelle. Source : Auteurs.

	<i>N</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>RII</i>	<i>Ecart type</i>
1.6	76	1,00	6,00	2,4605	1,46461
1.10	76	1,00	6,00	2,3553	1,35355
2.1	76	1,00	6,00	2,5132	1,50105
2.3	76	1,00	6,00	2,4737	1,33140
3.3	76	1,00	6,00	2,4211	1,20292
3.2	76	1,00	6,00	2,3158	1,32876
5.1	76	1	6	2,46	1,351
5.5	76	1	6	2,37	1,242
6.5	75	1	6	2,63	1,468
6.3	76	1	6	2,62	1,211
7.3	76	1	6	2,42	1,181
7.4	76	1	6	2,34	1,302
8.5	76	1	6	2,61	1,276
8.1	76	1	6	2,55	1,321
9.2	76	1	6	2,76	1,504
9.3	76	1	6	2,47	1,474

#### **10.4 présentation des résultats de l'analyse multivariée**

Notre collecte de données nous a permis d'obtenir 76 réponses entre Algérie, France et autres nationalités. Comme précisé au chapitre 5, la méthode statistique choisie pour confirmer les données obtenues est une analyse factorielle (AF) par la méthode des composantes principales avec rotation Varimax. Cette procédure nous permet de sélectionner 59 variables parmi les 9 dimensions organisationnelles pour l'analyse. Simultanément, il est nécessaire de sélectionner dans les menus la méthode utilisée pour l'extraction et la méthode de rotation.

Les données analysées concernent la deuxième partie du questionnaire. L'objectif est de faire ressortir les constructions latentes et émergentes afin de réduire le nombre de variables dans les données originales (SPSS, 2016). Cette analyse est divisée en deux étapes :

- Évaluation de l'adéquation de l'échantillonnage ;
- Analyse en composantes principales :

Pour effectuer l'analyse statistique, nous avons adopté un niveau de fiabilité de 5 % (intervalle de confiance de 95 %). L'AF a produit diverses caractéristiques statistiques telles que le test KMO, la matrice de corrélation des variables, la solution initiale (points communs, valeurs propres et pourcentage de variance expliqué) et la matrice des composantes pivotées.

##### **10.4.1 Pertinence de l'analyse factorielle**

Pour évaluer la pertinence de l'échantillonnage, nous avons effectué 2 tests statistiques :

Le test de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) et le test de sphéricité de Bartlett.

- Le test KMO est un indicateur de l'adéquation de la composition factorielle de la solution. Il indique la cohérence de toutes les variables et la capacité de contrôle qu'il permet d'exercer. Un  $KMO > 0.5$  indique que l'analyse factorielle peut être effectuée statistiquement (Martins, 2016).
- La "mesure de Bartlett" teste l'hypothèse nulle selon laquelle la matrice de corrélation originale est une matrice d'identité (une matrice d'identité est une matrice dans laquelle tous les éléments diagonaux sont 1 et tous les éléments hors diagonales sont 0). Il s'agit d'un test qui doit être significatif.

Comme le montre le [Tableau 33](#), le test de sphéricité de Bartlett était significatif au niveau de 0,00 (avec ddl = 1711 et valeur  $p = 0,00$ ), ce qui indique que la matrice de corrélation n'est pas une matrice d'identité. De même, la mesure de l'adéquation de l'échantillonnage de la KMO était suffisante avec une valeur de 0,679. À partir de ces résultats, nous pouvons dire que l'échantillon est adéquat et que l'analyse factorielle peut être appliquée.

**Tableau 32: Indice KMO et test de Bartlett. Source : Auteurs.**

*Indice KMO et test de Bartlett*

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,679
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-carré approx.	5323,18
	ddl	1711
	Signification	,000

### 10.5 L'Analyse en composantes principales (ACP)

Après la confirmation de l'applicabilité de la méthode factorielle, il convient d'effectuer l'analyse en composantes principales dans le but de calculer les communautés (ou variance commune) de chaque variable. Selon Jolibert et al. (Gavard-Perret, Gotteland, Haon, & Jolibert, 2008), la communauté est le degré auquel / les informations comprises dans chacune des variables initiales sont retournées par la solution factorielle. Cela varie entre 0 (les facteurs ne sont pas conformes) et 1 (l'information est renvoyée). Les communautés sont calculées avant et après l'extraction des composantes. Le [Tableau 34](#) présente les résultats de chaque variable.

Tableau 33: Communautés initiales et après extraction des facteurs pour l'analyse en composantes principales. Source :Auteurs .

<i>Les pratiques des dimensions organisationnelles</i>	<i>Initiales</i>	<i>Extraction</i>
1.1	1,000	,771
1.2	1,000	,806
1.3	1,000	,833
1.4	1,000	,769
1.5	1,000	,811
1.6	1,000	,801
1.7	1,000	,749
1.8	1,000	,790
1.9	1,000	,763
1.10	1,000	,849
1.11	1,000	,787
2.1	1,000	,841
2.2	1,000	,856
2.3	1,000	,737
2.4	1,000	,850
2.5	1,000	,801
2.6	1,000	,858
2.7	1,000	,711
3.1	1,000	,833
3.2	1,000	,749
3.3	1,000	,653
3.4	1,000	,778
4.1	1,000	,683
4.2	1,000	,717
4.3	1,000	,792
4.4	1,000	,794
4.5	1,000	,804
4.6	1,000	,681
5.1	1,000	,789
5.2	1,000	,754
5.3	1,000	,696
5.4	1,000	,789
5.5	1,000	,663
6.1	1,000	,763
6.2	1,000	,844
6.3	1,000	,828
6.4	1,000	,826
6.5	1,000	,866
7.1	1,000	,835
7.2	1,000	,793
7.3	1,000	,857
7.4	1,000	,843
7.5	1,000	,820

<i>Les pratiques des dimensions organisationnelles</i>	<i>Initiales</i>	<i>Extraction</i>
7.6	1,000	,853
7.7	1,000	,851
8.1	1,000	,742
8.2	1,000	,818
8.3	1,000	,803
8.4	1,000	,851
8.5	1,000	,782
8.6	1,000	,784
9.1	1,000	,708
9.2	1,000	,839
9.3	1,000	,897
9.4	1,000	,755
9.5	1,000	,782
9.6	1,000	,837
9.7	1,000	,837
9.8	1,000	,732
Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.		

La deuxième colonne du tableau fait référence aux communautés d'origine. Celles-ci sont toujours égales à un car la méthode utilise la variance totale. La troisième colonne se réfère aux communautés après extraction. Les résultats montrent que toutes des variables sont importantes (proches ou supérieures à 0,3). Par exemple, et en termes de pourcentage de variance pris en compte : la technologie M2M « machine à machine » est la plus élevée avec 0,897, ensuite nous avons les TIC avec 0,866, et enfin nous trouvons les « Big data » avec 0,858.

L'étape suivante consiste à choisir le nombre de facteurs  $i$  à extraire par la rotation varimax. La rotation des facteurs est importante pour générer une structure des facteurs qui peuvent être facilement interprétés. L'objectif est de redistribuer les variances. Cependant, le degré d'ajustement n'est pas affecté par le degré de rotation donnée. Le [Tableau 35](#) présente les résultats.

Tableau 34: Valeurs propres et pourcentage total de variances expliquée après la rotation.

Source: Auteurs.

<i>Composante</i>	<i>Valeurs propres initiales</i>		
	<b>Total</b>	<b>% de la variance</b>	<b>% cumulé</b>
1	30,655	51,957	51,957
2	3,152	5,343	57,301
3	2,460	4,170	61,470
4	2,217	3,757	65,227

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
5	1,716	2,909	68,136
6	1,649	2,795	70,932
7	1,367	2,316	73,248
8	1,310	2,220	75,468
9	1,137	1,927	77,395
10	1,042	1,766	79,161

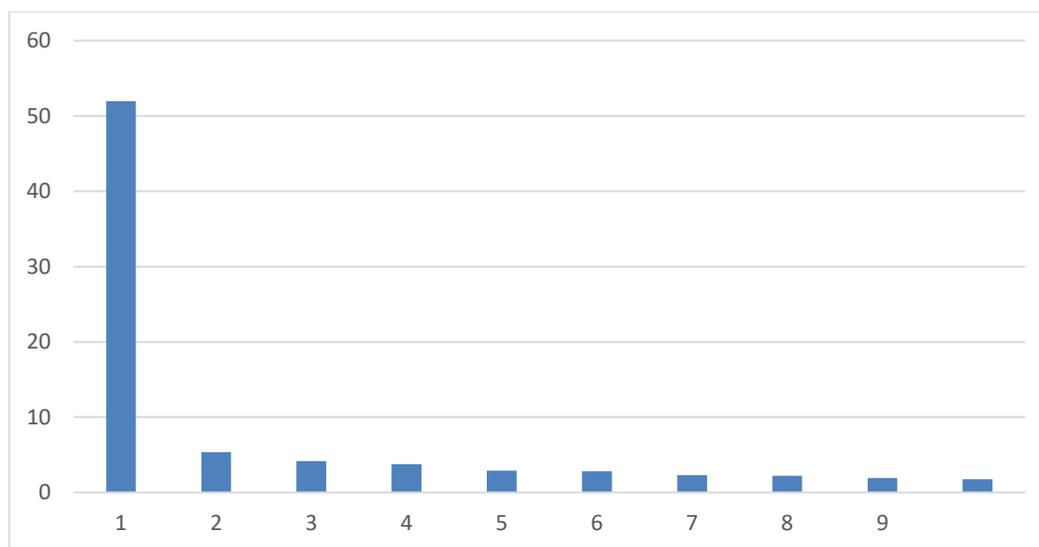


Figure 50: Pourcentage des facteurs extraits. Source : Auteurs.

Le [Tableau 35](#) et la [Figure 50](#) montrent la variance totale attribuée après la rotation. Selon Duquenne (2016), chaque facteur qui correspond à une dimension du phénomène est défini par la meilleure combinaison linéaire des variables initiales de la variance non expliquée par la dimension précédente. La première dimension (1<sup>er</sup> facteur) est la combinaison linéaire la plus forte de certaines des variables initiales. La deuxième dimension (2<sup>ème</sup> facteur) est celle qui correspond à la 2<sup>ème</sup> combinaison linéaire de variables qui explique le meilleur pourcentage d'informations non expliquées par la 1<sup>ère</sup> dimension (variance résiduelle), etc (Martins, 2016).

Selon le [Tableau 35](#), 10 facteurs sont extraits et couvrent 79,16 % du total de la variance. Ce pourcentage est élevé, et satisfaisant si l'on tient compte de la nature des données utilisées en plus de l'utilisation des valeurs et de la variance accumulés pour définir le nombre de facteurs à retenir.

### 10.5.1 Méthode de rotation et facteurs extraits

La méthode des composantes principales a été utilisée avec la "rotation orthogonale varimax" afin de déterminer le nombre minimum de facteurs et d'expliquer la part maximale de la variance de la variable originale. Après avoir effectué l'analyse factorielle, dix (10) facteurs finaux ont été extraits d'un total de 59 éléments (ce qui explique 79,6 % de la variance totale) ; ces facteurs ont été (Tableau 36) :

- 1) Facteur 1 : (explique 51,96% de la variance totale) neuf éléments ont été chargés sur ce facteur : 6.3 ; 8.3 ; 7.3 ; 6.2 ; 6.4 ; 6.5 ; 9.6 ; 9.3 ; 8.2 avec des valeurs de chargement de : 0.775 ; 0.731 ; 0.674 ; 0.662 ; 0.665 ; 0.655 ; 0.651 ; 0.612 ; 0.511 ; 0.487 respectivement. Il regroupe la plupart des variables de la dimension Culture.
- 2) Facteur 2 : (explique 5,343% de la variance totale) neuf éléments ont été chargés sur ce facteur : 1.11 ; 1.4 ; 1.10 ; 1.5 ; 1.6 ; 1.9 ; 1.2 ; 5.5 ; 3.3 avec des valeurs : 0.766 ; 0.725 ; 0.672 ; 0.668 ; 0.610 ; 0.551 ; 0.490 ; 0.469 ; 0.461 ; respectivement. Il regroupe la majorité des variables de la dimension stratégie.
- 3) Facteur 3 : (explique 4,170% de la variance totale) douze éléments ont été chargés sur ce facteur : 7.1 ; 7.7 ; 5.2 ; 9.5 ; 7.2 ; 8.7 ; 6.1 ; 7.6 ; 1.1 ; 8.2 ; 8.4 ; 5.4 avec des valeurs : 0.705 ; 0.668 ; 0.611 ; 0.586 ; 0.583 ; 0.548 ; 0.533 ; 0.516 ; 0.509 ; 0.502 ; 0.493 ; 0.446. Il jumelle entre les variables de la dimension employés, et de la gouvernance.
- 4) Facteur 4 : (explique 3,757% de la variance totale) huit éléments ont été chargés sur ce facteur : 2.5 ; 2.4 ; 2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 3.1 ; 3.2 ; 1.8 avec des valeurs : 0.750 ; 0.744 ; 0.619 ; 0.593 ; 0.529 ; 0.509 ; 0.468 ; 0.452. Il regroupe les variables des dimensions leadership et client.
- 5) Facteur 5 : (explique 2,909% de la variance totale) huit éléments ont été chargés sur ce facteur : 9.2 ; 9.1 ; 8.5 ; 8.6 ; 4.5 ; 8.10 avec des valeurs : 0.847 ; 0.829 ; 0.518 ; 0.495 ; 0.453 ; 0.442. Il regroupe les variables des dimensions technologies, et production.
- 6) Facteur 6 : (explique 2,795 % de la variance totale) six éléments ont été chargés sur ce facteur : 8.1 ; 2.6 ; 2.7 ; 1.3 ; 5.3 ; 3.4 avec des valeurs : 0.645 ; 0.619 ; 0.552 ; 0.507 ; 0.477 ; 0.477.

- 7) Facteur 7 : (explique 2,316% de la variante totale) quatre éléments ont été chargés sur ce facteur : 4.4 ; 4.1 ; 5.1 ; 4.6 avec des valeurs : 0.638 ; 0.483 ; 0.459 ; 0.437. Il regroupe la plupart des variables de la dimension production.
- 8) Facteur 8 : (explique 2,220% de la variante totale) trois éléments ont été chargés sur ce facteur : 4.3 ; 7.6 ; 1.7 avec des valeurs : 0.826 ; 0.530 ; 0.492.
- 9) Facteur 9 : (explique 1,927% de la variante totale) un élément a été chargé sur ce facteur : 1.7 avec une valeur de 0.783.
- 10) Facteur 10 : (explique 1,766% de la variante totale) un élément a été chargé sur ce facteur : 9.7 avec une valeur de 0.741.

Tableau 35 : Matrice de rotation et facteurs extraits. Source: Auteurs.

*Rotation de la matrice des composantes*

	Composantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.3	.775									
8.3	.731									
7.3	.674									
6.2	.662									
6.4	.655									
6.5	.651									
Q8.13	.612			.343						
8.2	.511					.399		.305		
Q8.11	.487		.387		.483					
1.11		.766								
1.4		.725								
1.10		.672		.313						
1.5		.668	.353	.318						
1.6		.610				.336	.364			
1.9		.551		.304		.397		.378		
5.5		.490						.416		
1.2		.469	.401	.446						
3.3	.367	.461								
7.1			.705							
7.7			.668		.312					
5.2	.318		.611							
Q8.12			.586		.368					.361
7.2			.583							
6.1			.548	.365						
Q8.7	.322		.533		.399					
7.6	.399	.355	.516			.380				
1.1		.501	.509			.307				
4.2	.318	.479	.502							
8.4	.477		.493					.376		
5.4	.339		.446				.379		.387	



Selon les résultats obtenus grâce à la rotation varimax de l'ACP, les dimensions les plus importantes sont respectivement : culture, stratégie, employés et gouvernance, Leadership et client, production et technologie, ce qui est conforme à ce que nous avons proposé dans le MM Lean 4.0 dans le chapitre 4.

Sur la base des résultats établis par l'analyse factorielle et la rotation varimax, la corrélation entre les facteurs résultant de cette dernière a été testée avec le smart PLS.

#### 10.5.2 Corrélation entre les nouvelles dimensions regroupées par l'analyse factorielle

Sur la base des nouvelles dimensions résultant de l'analyse factorielle, un certain nombre d'hypothèses sont proposées :

- ❖ Hypothèse 1 : la stratégie influence directement la production et les technologies ;
- ❖ Hypothèse 2 : La stratégie influence directement les employés et la gouvernance ;
- ❖ Hypothèse 3 : Les employés et la gouvernance influencent la culture ;
- ❖ Hypothèse 4 : La culture influence le leadership et le client ;
- ❖ Hypothèse 5 : Le leadership influence la production et les technologies.

Pour tester les hypothèses, cette recherche a commencé par l'évaluation du modèle de mesure afin de s'assurer que chacune des dimensions est fiable et valide. La cohérence interne du modèle de recherche a été examinée par modélisation structurelle partielle, en commençant par analyser les coefficients de charge des dimensions qui varient de 0,701 à 0,866, montrant ainsi que ces dimensions ont un très bon degré de fiabilité (Hair et al., 2014). Par la suite, les indicateurs de fiabilité ont été calculés et plus les valeurs sont élevées, plus le niveau de fiabilité est bon. Les principaux indicateurs dépassent le seuil minimum de 0,7 (Hair et al., 2006). Alpha de Cronbach qui mesure la fiabilité de la cohérence interne se situe entre 0,905 à 0,935 et représente de bons à très bons niveaux de fiabilité des dimensions. Le rho a de Dijkstra-Henseler est compris entre 0,905 et 0,954, et la fiabilité composite (CR) entre 0,930 et 0,960. Ainsi, toutes les valeurs dépassent la valeur seuil minimale de 0,7 pour toutes les variables, ce qui indique que le modèle de mesure a une bonne fiabilité (Sinkovics et al., 2016) ([Tableau 37](#)).

Tableau 36: Statistiques descriptives, et fiabilité et validité du modèle de mesure. Source : Auteurs.

	<i>Cronbach's Alpha</i>	<i>rho_A</i>	<i>Composite Reliability (CR)</i>	<i>Average Variance Extracted (AVE)</i>
-Leadership et client	0.940	0.942	0.949	0.629
-Stratégie	0.935	0.942	0.946	0.617
-Culture	0.905	0.905	0.930	0.727
-Employés et gouvernance	0.954	0.958	0.960	0.630
-production, opérations, et technologies	0.948	0.953	0.953	0.534

Nous avons continué à évaluer la validité discriminante en calculant les valeurs du critère de Fornell et Larcker (Fornell & Larcker, 1981) (Tableau 38), et à prouver la pertinence du modèle structurel. La corrélation la plus élevée a été enregistrée entre la production, opérations et technologies et les employés et la gouvernance (0.917), et la corrélation la plus faible a été enregistrée entre la stratégie et employés et gouvernance (0.736).

Tableau 37: Le résultat de Fornell et Larcker. Source : Auteurs.

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés et gouvernance</i>	<i>Production, opérations, et technologies</i>
Leadership et client	0.793	-	-	-	-
Stratégie	0.840	0.785	-	-	-
culture	0.807	0.760	0.853	-	-
employés et gouvernance	0.811	0.736	0.875	0.794	-
production, opérations, et technologies	0.825	0.779	0.877	0.917	0.731

Afin de consolider l'évaluation de la validité discriminante dans la modélisation des équations structurelles basées sur la variance, nous avons utilisé le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT), qui est considéré comme supérieur aux indicateurs précédents (Leeflang et al., 2017), comme critère de Fornell-Larcker et les recoupements (partiels) (Tableau 39).

Les résultats montrent que les valeurs du HTMT ne dépassent pas 0,90 (comprises entre 0,765 et 0,894), ce qui signifie que ce rapport répond aux exigences de Henseler et al. Les évaluations du modèle fournissent donc des preuves de la validité et de la fiabilité du modèle.

Tableau 38: Le rapport Heterotrait-Monotrait (HTMT). Source : Auteurs.

	<i>Culture</i>	<i>Employés et Leadership gouvernance et client</i>	<i>Production et technologie</i>	<i>Stratégie</i>
Culture	-	-	-	-
Employés et gouvernance	-	-	-	-
Leadership et client	0.865	0.846	-	-
Production, opérations, et technologie	-	-	0.831	-
Stratégie	0.824	0.775	0.894	0.765

Ensuite nous avons effectué une analyse Cross Loading (Tableau 40) pour vérifier les pratiques de chaque dimension, nous remarquons qu'il ya une cohérence entre les résultats trouvés, vis-à-vis les pratiques proposés par le modèle organisationnel voir (chapitre 6).

Tableau 39: Les résultats de cross loading. Source : Auteurs.

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés gouvernance</i>	<i>et Production, technologies</i>	<i>opérations, et</i>
Q.1.11	0.570	0.752	0.561	0.531	0.616	
Q1.1	0.628	0.781	0.608	0.565	0.590	
Q1.10	0.782	0.886	0.674	0.685	0.731	
Q1.2	0.720	0.855	0.624	0.576	0.602	
Q1.3	0.707	0.777	0.604	0.590	0.584	
Q1.4	0.579	0.727	0.535	0.522	0.581	
Q1.5	0.667	0.829	0.629	0.638	0.659	
Q1.6	0.721	0.859	0.642	0.636	0.696	
Q1.7	0.470	0.494	0.420	0.415	0.437	
Q1.8	0.678	0.810	0.652	0.558	0.619	
Q1.9	0.682	0.800	0.579	0.593	0.563	
Q2.1	0.827	0.668	0.603	0.608	0.579	
Q2.2	0.890	0.773	0.688	0.657	0.656	
Q2.3	0.803	0.661	0.595	0.549	0.588	
Q2.4	0.831	0.663	0.624	0.568	0.608	
Q2.5	0.762	0.639	0.581	0.541	0.572	
Q2.6	0.799	0.679	0.608	0.701	0.662	
Q2.7	0.739	0.601	0.564	0.549	0.539	
Q3.1	0.809	0.725	0.726	0.740	0.781	
Q3.2	0.783	0.616	0.628	0.736	0.754	
Q3.3	0.695	0.620	0.675	0.671	0.684	
Q3.4	0.768	0.650	0.687	0.678	0.690	
Q4.1	0.583	0.576	0.593	0.541	0.652	
Q4.2	0.550	0.606	0.635	0.659	0.730	
Q4.3	0.554	0.537	0.500	0.637	0.694	

	<i>Leadership et client</i>		<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés gouvernance</i>	<i>et Production, technologies</i>	<i>opérations, et</i>
Q4.4	0.582		0.628	0.573	0.642	0.744	
Q4.5	0.592		0.600	0.631	0.670	0.747	
Q4.6	0.544		0.516	0.608	0.609	0.708	
Q5.1	0.716		0.681	0.753	0.762	0.845	
Q5.2	0.661		0.673	0.748	0.786	0.819	
Q5.3	0.734		0.650	0.687	0.699	0.754	
Q5.4	0.703		0.745	0.759	0.717	0.777	
Q5.5	0.576		0.646	0.616	0.695	0.727	
Q6.1	0.732		0.672	0.779	0.768	0.779	
Q6.2	0.704		0.694	0.856	0.719	0.714	
Q6.3	0.620		0.559	0.880	0.697	0.726	
Q6.4	0.695		0.671	0.906	0.724	0.720	
Q6.5	0.669		0.627	0.847	0.791	0.783	
Q7.1	0.682		0.608	0.681	0.810	0.739	
Q7.2	0.708		0.635	0.681	0.844	0.785	
Q7.3	0.643		0.633	0.814	0.825	0.756	
Q7.4	0.390		0.388	0.509	0.640	0.532	
Q7.5	0.675		0.636	0.714	0.840	0.746	
Q7.6	0.696		0.675	0.749	0.850	0.775	
Q7.7	0.593		0.587	0.706	0.799	0.744	
Q8.1	0.693		0.561	0.601	0.735	0.646	
Q9.3	0.578		0.473	0.626	0.673	0.731	
Q9.4	0.631		0.548	0.763	0.725	0.783	
Q9.5	0.671		0.553	0.665	0.746	0.784	
Q9.6	0.646		0.561	0.771	0.775	0.762	
Q9.7	0.326		0.313	0.438	0.433	0.442	
Q8.2	0.681		0.641	0.767	0.850	0.761	

	<i>Leadership et client</i>		<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés gouvernance</i>	<i>et Production, technologies</i>	<i>opérations, et</i>
Q8.3	0.624		0.576	0.794	0.789	0.720	
Q8.4	0.667		0.548	0.767	0.856	0.786	
Q8.5	0.687		0.550	0.600	0.744	0.683	
Q8.6	0.676		0.606	0.622	0.762	0.769	
Q8.7	0.553		0.475	0.639	0.738	0.710	
Q9.1	0.512		0.387	0.526	0.591	0.691	
Q9.2	0.544		0.366	0.521	0.609	0.682	

Les résultats sont ensuite analysés et la colinéarité du modèle de recherche est préalablement testée. Nous constatons que les valeurs du facteur d'inflation de la variance de l'IVF sont de 1,00 comme le recommande Hair et al. (Hair et al., 2014). Les résultats prouvent qu'il n'y a pas de problème de colinéarité interférant entre les dimensions (Tableau 41).

Tableau 40:Facteur d'inflation de la variance de l'IVF. Source : contribution des auteurs avec Smart PLS.

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés et gouvernance</i>	<i>Production, opérations, et technologies</i>
-Leadership et client					3.394
-Stratégie				1.000	3.394
-Culture	1.000				
-Employés et gouvernance			1.000		
-Production, opérations, et technologies					

Nous avons continué à évaluer le modèle de recherche en interprétant le coefficient de détermination R square ( $R^2$ ), F2 et Path (p). Voir (Figure 51, Tableaux 42, 43) respectivement .Le coefficient de détermination entre 0,25 et 0,50 est considéré comme bon et au-dessus de 0,50 est très bien considéré, d'où le coefficient de détermination de toutes les dimensions est très bien.

La valeur de  $R^2$  fournit une bonne mesure de la taille substantielle de la relation entre la variable prédictive ou dépendante et les variables indépendantes. La Figure 51 montre les valeurs de  $R^2$ , allant de 0.542 à 0.765. Les résultats ainsi obtenus nous ont permis de confirmer la validité, la fiabilité de toutes les dimensions organisationnelles et de tester les hypothèses.

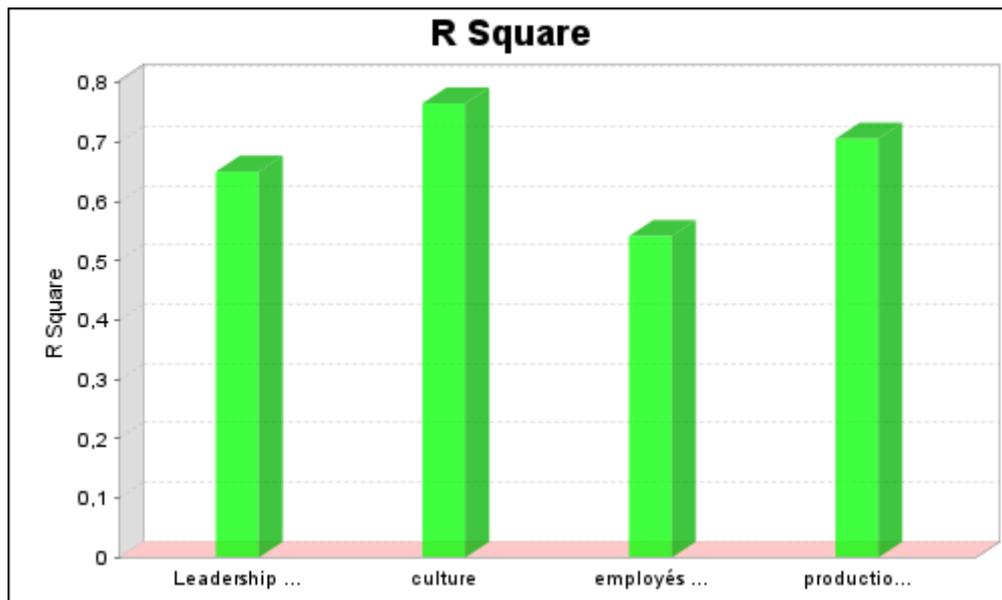


Figure 51: Valeurs de R<sup>2</sup>. Source: Auteurs.

Tableau 41: Valeurs de F2. Source: Auteurs.

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>Culture</i>	<i>Employés et gouvernance</i>	<i>Production, opérations, et technologies</i>	
-Leadership et client						0.335
-Stratégie					1.182	0.086
-Culture	1.862					
-Employés et gouvernance				3.261		
-Production, opérations, et technologies						

Tableau 42: Coefficient de path. Source : Auteurs.

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>culture</i>	<i>employés et gouvernance</i>	<i>production, opérations, et technologies</i>	
-Leadership et client	-	-	-	-		0.578
-Stratégie	-	-	-	0.736		0.294
-culture	0.807	-	-	-		-

	<i>Leadership et client</i>	<i>Stratégie</i>	<i>culture</i>	<i>employés et gouvernance</i>	<i>production, opérations, et technologies</i>
employés et gouvernance	-	-	0.875	-	-
production, opérations, et technologies	-	-	-	-	-

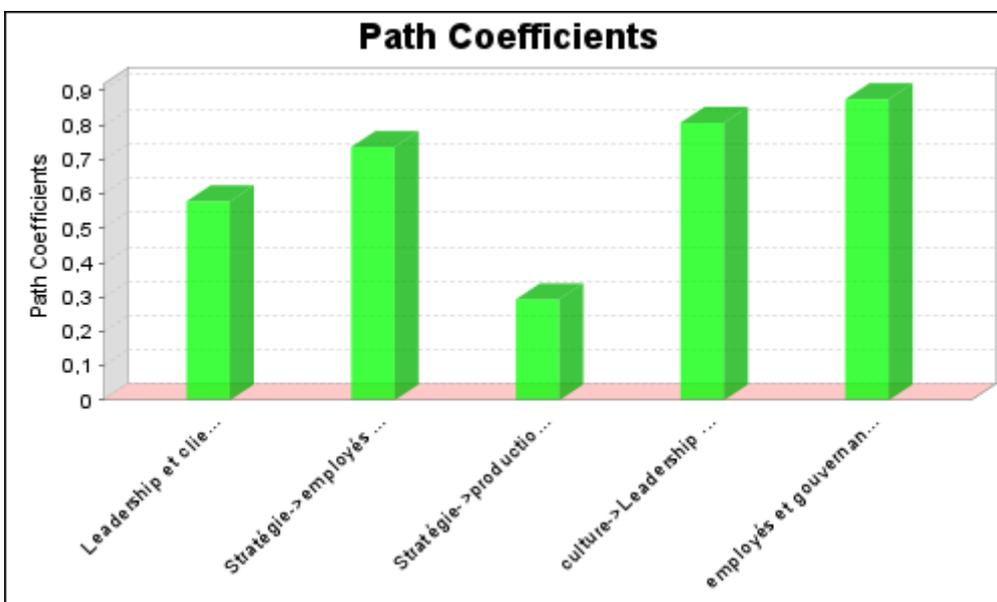


Figure 52: Coefficient de Path. Source : Auteurs.

Les Figure 52 et 53 montrent les valeurs du coefficient de cheminement path. En effet, les coefficients fournissant une valeur significative (au niveau path 0,05 ou plus). Les résultats du coefficient de path sont les suivants respectivement : culture -> leadership et client avec 0.807, employés et gouvernance -> culture avec 0.875, leadership -> client et production et technologie avec 0.624, stratégie-> employés et gouvernance avec 0.736, et enfin stratégie -> production et technologie avec 0.195. Ainsi, toutes les hypothèses que nous avons supposées sont confirmées.

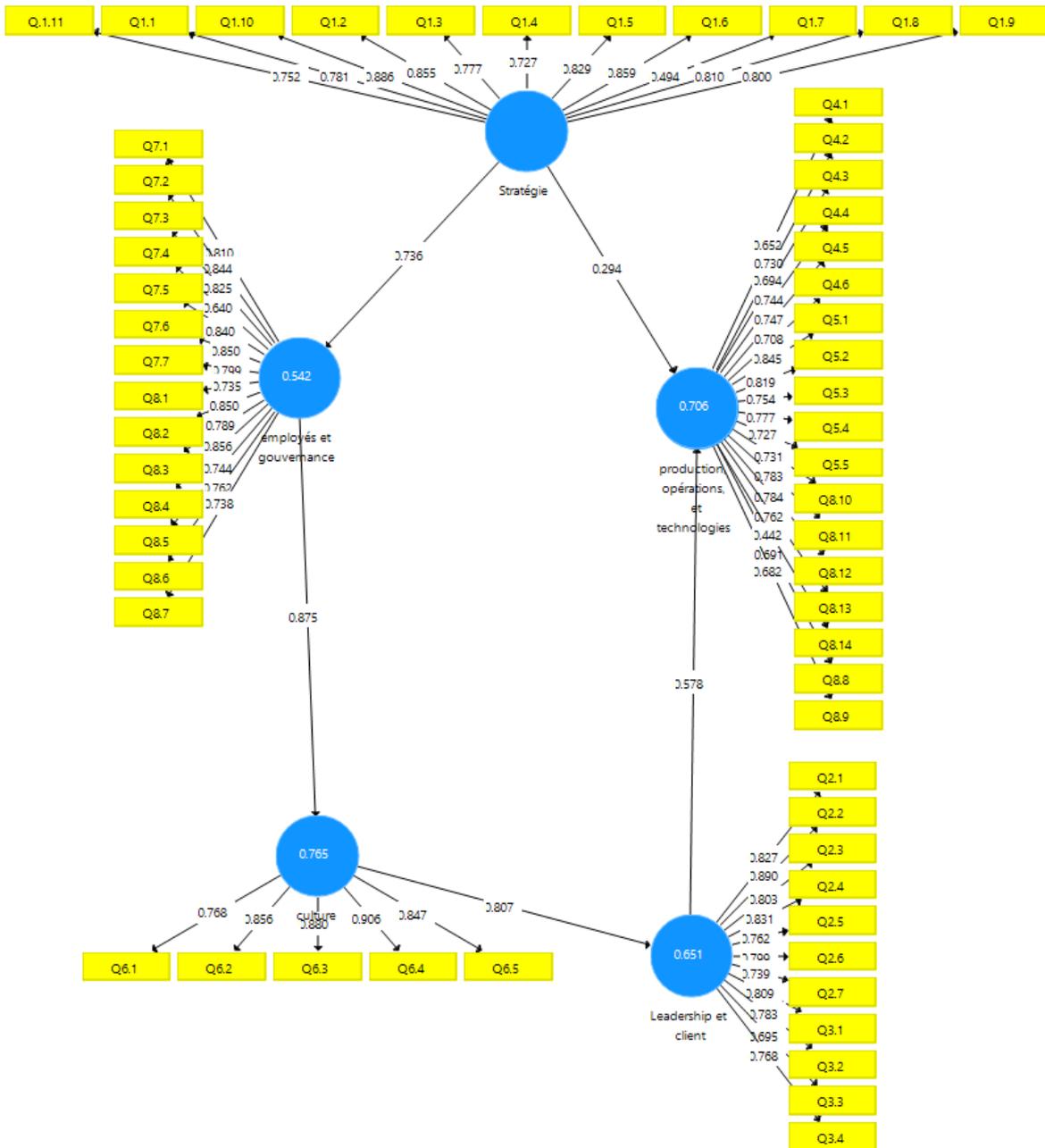


Figure 53: Coefficient path des 5 dimensions avec SMART PLS. Source : Auteurs.

### 10.6 Proposition d'un nouveau modèle amélioré avec 5 dimensions organisationnelles

Après la confirmation de nos hypothèses et la validation statistique des nouveaux facteurs (5 dimensions) extraits après la rotation de l'ACP. La Figure 54 présente le nouveau modèle de maturité Lean 4.0 par rapport aux 5 dimensions.

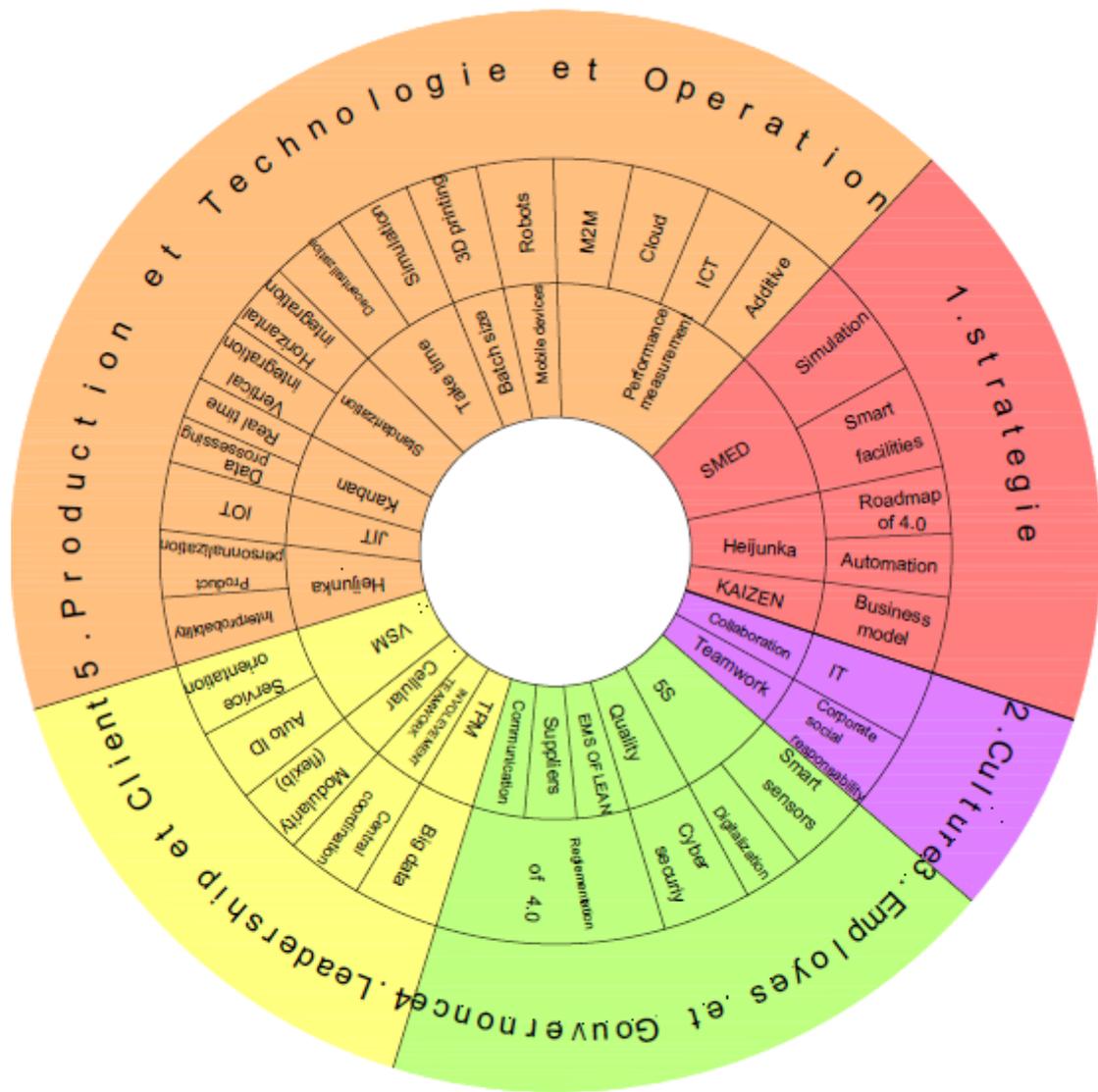


Figure 54:Nouveau MM Lean 4.0. Source : Auteurs.

### 10.7 Conclusion

Après la discussion des résultats obtenus, nous allons présenter un récapitulatif de cette thèse dans la section suivante qui est la conclusion générale.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

### **11.1 Conclusion générale**

La recherche s'est concentrée sur deux domaines : Lean 4.0 et MM grâce à l'élaboration d'un (MM Lean 4.0) qui a été vérifié pour mesurer l'état actuel de la maturité des Lean 4.0, et par la suite, améliorer la connaissance et la compréhension du Lean 4.0 dans les organisations. Cette thèse offre une occasion unique d'examiner le Lean 4.0 , et l'évolution des processus de maturation au sein des organisations. La littérature du Lean 4.0 a négligé les évaluations organisationnelles, en particulier dans le forme de MM telle qu'identifiée par l'analyse documentaire. Contrairement à d'autres approches, la principale contribution de cet effort de recherche est l'inclusion de divers aspects organisationnels, ce qui permet d'obtenir un modèle MM Lean 4.0 plus complet.

Les répondants n'ont pas principalement une expérience de qualité dans le domaine du Lean 4.0. Ceci est considéré comme une certaines limitations. Toutefois, il a semblé plus approprié de se concentrer sur les personnes clés du Lean 4.0 plutôt que d'interroger des personnes de l'extérieur sur le MM. À la lumière, la recherche a ainsi identifié le leadership Lean 4.0 , c'est-à-dire l'axe de la culture et du comportement ; la connaissance du Lean4.0, et la faible résistance au changement comme étant l'essence du phénomène "Maturité du Lean 4.0 ".

En outre, cette thèse est principalement destinée à être utilisé au sein d'entités telles que : les clients, les entrepreneurs, les sous-traitants et autres intervenants dans la construction. En effet, la contribution aussi pratique que théorique a fournit une opportunité d'améliorer la capacité du Lean 4.0 dans les organisations surtout de construction réalisée dans les points suivants :

- Une analyse documentaire complète et originale par une nouvelle intégration de Lean 4.0 et de MM ;
- l'identification des lacunes actuelles dans nos connaissances en matière de Lean 4.0 et l'utilisation d'évaluations organisationnelles, en particulier par les MM, qui est original en abordant de nouvelles questions en termes de maturité du Lean 4.0 ;
- une nouvelle synthèse des MM vers le Lean 4.0 en tant que philosophie de gestion, pour faire le pont entre l'écart des pratiques au sein des entreprises de construction des grilles de maturité pour le Lean 4.0;

- la simplification du Lean 4.0 en 5 dimensions clés qui ont fait leurs preuves de saisir la maturité du Lean 4.0, et d'expliquer le Lean 4.0 d'une manière unique et simple. Il s'agit d'original par le développement d'une compréhension innovante du Lean 4.0, et maturité de Lean 4.0 ;
- la production de nouvelles connaissances grâce à une étude phénoménologique qui fournit une description exhaustive de l'essence de la maturité du Lean 4.0 et plus encore.

### ***11.2 Les futurs Perspectives et les limites de la recherche***

les conclusions de cette recherche fournissent une base solide pour étudier les implications potentielles de l'application de la le concept de MM au Lean 4.0 avec le cadre proposé. Des travaux supplémentaires doivent être effectués pour tester et renforcer les preuves supplémentaires de l'ensemble des avantages et des implications du cadre proposé.

Cela doit être envisagé dans le cadre d'une recherche basée sur une étude de cas de déploiement. En outre, la généralisation de l'explication qui s'est dégagée de la maturité du Lean 4.0 ainsi que des 5 dimensions clés du Lean 4.0 peuvent être confirmées ou non par des études empiriques supplémentaires. Des recherches supplémentaires doivent également envisager d'étudier la mise en œuvre du Lean 4.0 dans un environnement des entreprises de différentes échelles afin d'identifier explicitement les limites de l'adéquation de ce cadre dans les projets de construction aussi .

La recherche a suggéré les corrélations entre les thèmes identifiés de la maturité des Lean4.0. Ces relations doivent être étudiées plus en détail afin d'identifier leur impact sur la maturité des Lean 4.0 et éventuellement identifier des relations supplémentaires par l'application des méthodes matricielles de corrélation comme le DEMATEL . Plus précisément, il convient d'examiner comment le cadre proposé pourrait être étendu pour permettre une définition plus précise des priorités pour les futures actions d'amélioration en tenant compte de l'orientation stratégique individuelle de l' organisation qui est évaluée.

Il serait intéressant d'examiner les obstacles et les contradictions qui influencent les synergies entre Industrie 4.0 et LM, et il faudrait se concentrer sur la maturité des entreprises à déployer le Lean 4.0 et proposer des feuilles de route ou des modèles. Pour ce faire, des recherches plus approfondies devraient être menées sur un plus grand nombre de documents

disponibles. A cette fin, les études Lean4.0 peuvent également être trouvées dans d'autres bases de données telles que Scopus, et IEEE, etc. Il sera très important d'effectuer une étude bibliométrique dans d'autres bases de données afin de comparer ce qui est disponible dans la littérature. Il sera très important d'effectuer une analyse bibliométrique dans d'autres bases de données afin de comparer ce qui est disponible dans la littérature. Cela permettrait de recueillir des informations telles que : combien de scientifiques travaillent sur un sujet spécifique, quels pays/organisations sont impliqués, etc. Pour des résultats plus complets, la revue pourrait également inclure des articles en langue allemande en raison de la source de L4.0.

Une perspective de recherche pertinente consisterait à mesurer et à analyser les gains des entreprises en mesurant les indicateurs de performances. De plus, des études qui impliquent un échantillonnage d'études fournissant des preuves significatives de divers secteurs aideraient à étudier empiriquement cette synergie entre LM et I4.0 car celles-ci représentent une minorité des travaux disponibles.

Une autre perspective de recherche serait d'explorer davantage les technologies et les outils de Lean 4.0 et d'impliquer les possibilités d'amélioration sur un pilier tel que le développement durable, qui est l'une des perspectives les plus importantes, renforçant ainsi le Lean écologique 4.0 dans les organisations en tant que facteur de performance. Par conséquent, il est suggéré de se concentrer sur la manière de réaliser une synergie entre les deux concepts Lean et Industrie4.0 dans un cadre écologique. En ce qui concerne les outils Lean les plus liés à l'Industrie, nous avons les TIC car l'ingénierie intégrée utilisant des méthodes de communication et de virtualisation avancées promet un potentiel d'optimisation important. Il sera de moins en moins important de déterminer quel processus est exécuté dans quelle entreprise ou usine en particulier, car toutes les entités participantes peuvent accéder à des informations en temps réel et la surveillance est répartie au niveau de l'atelier. En outre, la compétitivité de l'entreprise sera renforcée par l'amélioration de la flexibilité et de l'efficacité de la production grâce à la communication, l'information et l'intelligence. Cela implique l'interconnexion de plusieurs éléments afin que les organisations créent des réseaux intelligents le long de la chaîne de valeur qui peuvent être contrôlés de manière autonome.



## **REFERENCE**

## REFERENCE

- Adolph, S., Tisch, M., & Metternich, J. (2014). Challenges and approaches to competency development for future production. *Journal of International Scientific Publications—Educational Alternatives*, 12(1), 1001–1010.
- Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J., & Mertiny, P. (2018). Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping. *Procedia Manufacturing*, 23, 237–242.
- Aibinu, A. A., & Jagboro, G. O. (2002). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management*, 20(8), 593–599.
- Alarcón, L. F. (1997). Tools for the identification and reduction of waste in construction projects. *Lean Construction*, 5, 365–377.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.
- Amaratunga, D., Baldry, D., Sarshar, M., & Newton, R. (2002). Quantitative and qualitative research in the built environment: application of “mixed” research approach. *Work Study*.
- Anderl, R. (2014). Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. *Proceedings of International Seminar on High Technology*, 19.
- Anderl, R., Anokhin, O., & Arndt, A. (2018). Efficient Factory 4.0 Darmstadt—Industrie 4.0 Implementation for Midsize Industry. In *The Internet of Things* (pp. 117–131). Springer.
- Andersen, E. S., & Jessen, S. A. (2003). Project maturity in organisations. *International Journal of Project Management*, 21(6), 457–461.
- Antony, J., Rodgers, B., & Cudney, E. A. (2019). Lean Six Sigma in policing services: case examples, lessons learnt and directions for future research. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(5–6), 613–625.
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*.

- Aris, R., & Penn, M. (1980). The mere notion of a model. *Mathematical Modelling*, 1(1), 1–12.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., & Persona, A. (2012). Sequencing procedure for balancing the workloads variations in case of mixed model assembly system with multiple secondary feeder lines. *International Journal of Production Research*, 50(21), 6081–6098.
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128–137.
- Baglin, G., & Capraro, M. (2000). *L'entreprise LEAN Production ou la PME compétitive par l'action collective*.
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143.
- Baron, S., Harris, K., & Elliott, D. (2005). Crisis management and services marketing. *Journal of Services Marketing*.
- Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., & Vocke, C. (2015). Transforming to a hyper-connected society and economy—towards an “Industry 4.0.” *Procedia Manufacturing*, 3, 417–424.
- Bayhan, H. G., Demirkesen, S., & Jayamanne, E. (2019). Enablers and Barriers of Lean Implementation in Construction Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2), 22002. IOP Publishing.
- BearingPoint, G. (2017). Lean 4.0—Schlank durch Digitalisierung. *H UND V JOURNAL*, 69(1), 30–31.
- Beaudoin, J., Lefebvre, G., Normand, M., Gouri, V., Skerlj, A., Pellerin, R., ... Danjou, C. (2016). *Prendre part à la révolution manufacturière? Du rattrapage technologique à l'Industrie 4.0 chez les PME*. Centre francophone d'informatisation des organisations (CEFRIO).
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing maturity models for IT management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222.
- Becker, T., Burghart, C., Nazemi, K., Ndjiki-Nya, P., Riegel, T., Schäfer, R., ... Wissmann, J. (2014). Core technologies for the internet of services. In *Towards the Internet of Services: The THESEUS Research Program* (pp. 59–88). Springer.
- Belhadi, A., & Touriki, F. E. (2017). Prioritizing the solutions of lean implementation in SMEs to overcome its barriers. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

- Bell, E., Bryman, A., & Harley, B. (2018). *Business research methods*. Oxford university press.
- Bhasin, S. (2013). Analysis of whether Lean is viewed as an ideology by British organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Bhaskar, R. (2013). *A realist theory of science*. Routledge.
- Bhattacharjee, A. (2012). *Social science research: Principles, methods, and practices*.
- Biao, W., ZHAO, J., WAN, Z., Hong, L. I., & Jian, M. A. (2016). Lean intelligent production system and value stream practice. *DEStech Transactions on Economics, Business and Management*, (icem).
- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030–1043.
- Bick, W. (2014). Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. *VDI-Z*, 156(11), 46–47.
- Birks, M., & Mills, J. (2015). *Grounded theory: A practical guide*. Sage.
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 904–909.
- Bloss, R. (2016). Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Borgmeier, A., Grohmann, A., & Gross, S. F. (2017). *Smart Services und Internet der Dinge: Geschäftsmodelle, Umsetzung und Best Practices: Industrie 4.0, Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine, Big Data, Augmented Reality Technologie*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700–5705.
- Bösenberg, D., & Metzen, H. (1994). *Le lean management: alléger structures et coûts pour muscler l'organisation*. Les éd. d'organisation.
- Bossert, J. (2003). Lean and Six Sigma-synergy made in heaven. *Quality Progress*, 36(7), 31.
- Boyer, R., Charron, E., Jurgens, U., & Tolliday, S. (1998). *Between imitation and innovation: The transfer and hybridization of productive models in the international automobile industry*.

OUP Oxford.

- Braccini, A. M., & Margherita, E. G. (2019). Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. *Sustainability*, *11*(1), 36.
- Brantly, W., & Womack, B. (1991). *Contemporary Chinese politics in historical perspective*. Cambridge University Press.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, *8*(1), 37–44.
- Brockner, J., & James, E. H. (2008). Toward an understanding of when executives see crisis as opportunity. *The Journal of Applied Behavioral Science*, *44*(1), 94–115.
- Brown, C. J. (2008). A comprehensive organisational model for the effective management of project management. *South African Journal of Business Management*, *39*(3), 1–10.
- Bruun, P., & Mefford, R. N. (2004). Lean production and the Internet. *International Journal of Production Economics*, *89*(3), 247–260.
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2924–2940.
- Cahyanto, I., Wiblishauser, M., Pennington-Gray, L., & Schroeder, A. (2016). The dynamics of travel avoidance: The case of Ebola in the US. *Tourism Management Perspectives*, *20*, 195–203.
- Caldera, H. T. S., Desha, C., & Dawes, L. (2019). Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in ‘lean’ SMEs. *Journal of Cleaner Production*, *218*, 575–590.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, *22*(1), 155–205.
- Chahal, V., & Narwal, M. (2017). Impact of lean strategies on different industrial lean wastes. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, *12*(2), 275–286.
- Chambers, S., JOHNSTON, R., & SLACK, N. (2002). *Administração da produção*. São Paulo:

*Atlas.*

- Checkland, P., & Holwell, S. (1998). *Information, systems, and information systems*. John Wiley & Sons Chichester.
- Chen, T., & Lin, Y. (2017). Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3D printing: a review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(4), 394–413.
- Ciano, M. P., Pozzi, R., Rossi, T., & Strozzi, F. (2019). How IJPR has addressed ‘lean’: a literature review using bibliometric tools. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 5284–5317.
- Cimini, C., Pinto, R., Pezzotta, G., & Gaiardelli, P. (2017). The transition towards industry 4.0: business opportunities and expected impacts for suppliers and manufacturers. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 119–126. Springer.
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F., & Yao, X. (2019). *Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era*. Springer.
- Conti, M., Passarella, A., & Das, S. K. (2017). The Internet of People (IoP): A new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing*, 41, 1–27.
- Cooke-Davies, T J, Schlichter, J., & Bredillet, C. (2001). Beyond the PMBOK guide. *Proceedings of the 32nd Annual Project Management Institute 2001 Seminars and Symposium, Nashville, TN*.
- Cooke-Davies, Terence J, & Arzymanow, A. (2003). The maturity of project management in different industries: An investigation into variations between project management models. *International Journal of Project Management*, 21(6), 471–478.
- Coombs, W. T. (2007). Protecting organization reputations during a crisis: The development and application of situational crisis communication theory. *Corporate Reputation Review*, 10(3), 163–176.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.

- Crotty, M., & Crotty, M. F. (1998). *The foundations of social research: Meaning and perspective in the research process*. Sage.
- Curtis, B., & Weber, C. V. (1995). *The capability maturity model: Guidelines for improving the software process*. Addison-Wesley Professional.
- Cusumano, M. A. (1985). *The Japanese automobile industry: Technology and management at Nissan and Toyota*.
- Cusumano, M. A., Nobeoka, K., & Kentaro, N. (1998). *Thinking beyond lean: how multi-project management is transforming product development at Toyota and other companies*. Simon and Schuster.
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1288–1295.
- De Bruin, T., Rosemann, M., Freeze, R., & Kaulkarni, U. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*: 8–19. Australasian Chapter of the Association for Information Systems.
- de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18–25.
- De Vaus, D., & de Vaus, D. (2013). *Surveys in social research*. Routledge.
- del Rio-Chanona, R. M., Mealy, P., Pichler, A., Lafond, F., & Farmer, D. (2020). Supply and demand shocks in the COVID-19 pandemic: An industry and occupation perspective. *ArXiv Preprint ArXiv:2004.06759*.
- Devezas, T., & Sarygulov, A. (2017). *Industry 4.0*. Springer.
- Dixon, J. C., Singleton, R., & Straits, B. C. (2016). *The process of social research*. Oxford University Press, USA.
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean production systems: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 1061–1068.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). *Industrie 4.0: hit or hype?*[industry forum]. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Industrial Electronics Magazine* 8 (2): 56–58.

- Dubois, A., & Gadde, L.-E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, 55(7), 553–560.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R., & Jackson, P. R. (2012). *Management research*. Sage.
- Ejsmont, K., & Gładysz, B. (2020). Lean Industry 4.0—Wastes Versus Technology Framework. *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 537–546. Springer.
- Ejsmont, K., Gladysz, B., Corti, D., Castaño, F., Mohammed, W. M., & Lastra, J. L. M. (2020). Towards ‘Lean Industry 4.0 ’–Current trends and future perspectives. *Cogent Business & Management*, 7(1), 1781995.
- Elliott, D., & McGuinness, M. (2002). Public inquiry: panacea or placebo? *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 10(1), 14–25.
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0—Competencies for a modern production system: A curriculum for learning factories. *Procedia Manufacturing*, 23, 267–272.
- Fan, W., Chen, Z., Xiong, Z., & Chen, H. (2012). The Internet of data: a new idea to extend the IOT in the digital world. *Frontiers of Computer Science*, 6(6), 660–667.
- Farrar, J. M., AbouRizk, S. M., & Mao, X. (2004). Generic implementation of lean concepts in simulation models. *Lean Construction Journal*, 1(1), 1–23.
- Fasting, M. S. (2019). *Industry 4.0 in Waste Management*. NTNU.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633–644.
- Faulkner, B. (2001). Towards a framework for tourism disaster management. *Tourism Management*, 22(2), 135–147.
- Ferenhof, H. A., & Fernandes, R. F. (2016). Demystifying literature review as a basis for scientific writing: the SSF method. *Revista ACB*, 21(3), 550–563.
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. de, & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255–268.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.

- Floridi, L. (2008). *The Blackwell guide to the philosophy of computing and information*. John Wiley & Sons.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Fraser, P., Moultrie, J., & Gregory, M. (2002). The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. *IEEE International Engineering Management Conference*, 1, 244–249. IEEE.
- Frigg, R., & Hartmann, S. (2006). *Models in science*.
- Fujimoto, T. (1989). Organizations for Effective Product Development: The Case of the Global Automobile Industry. *DBA Dissertation, Harvard Business School*.
- García-Alcaraz, J. L., Maldonado-Macías, A. A., & Cortes-Robles, G. (2014). *Lean manufacturing in the developing world*. Springer.
- Gato, E., Vázquez-Ucha, J. C., Rumbo-Feal, S., Álvarez-Fraga, L., Vallejo, J. A., Martínez-Gutián, M., ... Pérez-Vázquez, M. (2020). Kpi, a chaperone-usher pili system associated with the worldwide-disseminated high-risk clone *Klebsiella pneumoniae* ST-15. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(29), 17249–17259.
- Gavard-Perret, M.-L., Gotteland, D., Haon, C., & Jolibert, A. (2008). *Méthodologie de la recherche*. Editions Pearson Education France.
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Retrieved from PwC Website: <https://www.pwc.com/Gx/En/Industries/Industries-4.0/Landing-Page/Industry-4.0-Building-Your-Digital-Enterprise-April-2016.Pdf>.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer.
- Goienetxea Uriarte, A., Ng, A. H. C., & Urenda Moris, M. (2020). Bringing together Lean and simulation: a comprehensive review. *International Journal of Production Research*, 58(1), 87–117.

- Gothelf, J. (2013). *Lean UX: Applying lean principles to improve user experience*. “ O’Reilly Media, Inc.”
- Grayson, K. J., & Anderson, J. L. R. (2018). Designed for life: biocompatible de novo designed proteins and components. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(145), 20180472.
- Gutierrez, F. B. (2020). *Comment les nouvelles pratiques de gestion mises en place pour faire face à la pénurie de main-d’œuvre dans le secteur des technologies de l’information et des communications contribuent à la transformation de la culture organisationnelle d’une firme conseil en TIC?*
- Haig, B. D. (2018). An abductive theory of scientific method. In *Method matters in psychology* (pp. 35–64). Springer.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis: Pearson new international edition*. Essex: Pearson Education Limited.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis (Vol. 6): Pearson Prentice Hall Upper Saddle River*. NJ.
- Hambach, J., Kümmel, K., & Metternich, J. (2017). Development of a digital continuous improvement system for production. *Procedia CIRP*, 63, 330–335.
- Hammer, M. (2007). The process audit. *Harvard Business Review*, 85(4), 111.
- Hayes, C. (2013). The Lean Handbook: A Guide to the Bronze Certification Body of Knowledge. *Lean & Six Sigma Review*, 12(2), 28.
- He, W., & Xu, L. (2015). A state-of-the-art survey of cloud manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(3), 239–250.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. IEEE.
- Hills, A. (1998). Seduced by recovery: The consequences of misunderstanding disaster. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 6(3), 162–170.
- Hines, P., Dimancecu, D., & Rich, N. (1997). *The Lean Enterprise*. Amacom, New York, NY.
- Hines, Peter, & Lethbridge, S. (2008). New development: creating a lean university. *Public Money and Management*, 28(1), 53–56.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on

- logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.
- Hohmann, C. (2012). *Lean management: outils, méthodes, retours d'expériences, questions/réponses*. Editions Eyrolles.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437.
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132.
- Hounshell, D. (1985). *From the American system to mass production, 1800-1932: The development of manufacturing technology in the United States*. JHU Press.
- How Process Improvement Institute is Adapting to the COVID-19 Pandemic. (2020). Retrieved June 8, 2020, from <https://www.process-improvement-institute.com/how-process-improvement-institute-is-adapting-to-the-covid-19-pandemic/>
- Howell, G. A. (1999). What is lean construction-1999. *Proceedings IGLC*, 7, 1. Citeseer.
- Howell, G. A., & Koskela, L. (2000). *Reforming project management: the role of lean construction*.
- Hu, H., Wen, Y., Chua, T.-S., & Li, X. (2014). Toward scalable systems for big data analytics: A technology tutorial. *IEEE Access*, 2, 652–687.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*. Springer.
- Humphrey, W. S. (1993). *Introduction to Software Process Improvement*. CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST.
- IHI. (2005). *Going Lean in Health Care. IHI Innovation Series White Paper*. Institute for Healthcare Improvement Cambridge, MA.
- Intezari, A., & Gressel, S. (2017). Information and reformation in KM systems: big data and strategic decision-making. *Journal of Knowledge Management*.
- Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885.
- Jones, C., & Pimdee, P. (2017). Innovative ideas: Thailand 4.0 and the fourth industrial revolution. *Asian International Journal of Social Sciences*, 17(1), 4–35.

- Junior, J. A. G., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., & Carreão, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 372–382.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23–45). Springer.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 408–425.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2018). Coming of age digitally: Learning, leadership, and legacy. *MIT Sloan Management Review and Deloitte Insights*.
- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., & Ramsauer, C. (2017). Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing*, *9*, 206–213.
- Kearney, A. (2018). Readiness for the future of production report 2018. *World Economic Forum*.
- Ketteler, D., & König, C. (2017). Lean 4.0–Schlank durch Digitalisierung. *Frankfurt Am Main, Germany: BearingPoint GmbH*.
- Kiel, D., Arnold, C., & Voigt, K.-I. (2017). The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective. *Technovation*, *68*, 4–19.
- Kocian, J., Tutsch, M., Ozana, S., & Koziorek, J. (2012). Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. In *Frontiers in Computer Education* (pp. 491–499). Springer.
- Koether, R., & Meier, K.-J. (2017). *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*. Springer.
- Kohler, D., & Weisz, J. D. (2016). Industrie 4.0–Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand [Industry 4.0: The Challenges of the Digital Transformation of the

- German Industrial Model]. *La Documentation Française, Ed. Paris*, 176.
- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845–2856.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870–1875.
- Kolla, S., Minufekr, M., & Plapper, P. (2019). Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. *Procedia Cirp*, 81, 753–758.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford university Stanford, CA.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Kraus, S., Clauss, T., Breier, M., Gast, J., Zardini, A., & Tiberius, V. (2020). The economics of COVID-19: initial empirical evidence on how family firms in five European countries cope with the corona crisis. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*.
- Künzel, H. (2016). *Erfolgsfaktor Lean Management 2.0*. Springer.
- Kwak, Y. H., & Ibbs, C. W. (2002). Project management process maturity (PM) 2 model. *Journal of Management in Engineering*, 18(3), 150–155.
- Lafontaine, O. (1998). *Innovationen für Deutschland*. Steidl.
- Lai, N. Y. G., Wong, K. H., Halim, D., Lu, J., & Kang, H. S. (2019). Industry 4.0 enhanced lean manufacturing. *2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, 206–211. IEEE.
- Lampel, J., Shamsie, J., & Shapira, Z. (2009). Experiencing the improbable: Rare events and organizational learning. *Organization Science*, 20(5), 835–845.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M. S., & Kruschwitz, N. (2011). Big data, analytics and the path from insights to value. *MIT Sloan Management Review*, 52(2), 21–32.
- Lee, A. S., & Hubona, G. S. (2009). A scientific basis for rigor in information systems research. *Mis Quarterly*, 237–262.

- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
- Leeflang, P. S. H., Wieringa, J. E., Bijmolt, T. H. A., & Pauwels, K. H. (2017). Advanced Methods for Modeling Markets (AMMM). In *Advanced Methods for Modeling Markets* (pp. 3–27). Springer.
- Lehmann, E. L. (1993). The Fisher, Neyman-Pearson theories of testing hypotheses: one theory or two? *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1242–1249.
- Leite, H., Bateman, N., & Radnor, Z. (2016). Lean implementation and sustainability: a classification model of the main organizational barriers and enablers. *Production and Operations Management Society Conference*, 1–10.
- Leminen, S., Westerlund, M., Rajahonka, M., & Siuruainen, R. (2012). Towards IOT ecosystems and business models. In *Internet of things, smart spaces, and next generation networking* (pp. 15–26). Springer.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0—a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (Fedcsis)*, 1297–1302. IEEE.
- Leyh, C., Martin, S., & Schäffer, T. (2017). Industry 4.0 and Lean Production—A matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 989–993. IEEE.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... Schröter, M. (2015). IMPULS-industrie 4.0-readiness. *Impuls-Stiftung Des VDMA, Aachen-Köln*.
- Liker, J. (2001). *K., 2004, The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K. (1997). *Becoming lean: Inside stories of US manufacturers*. CRC Press.
- Liker, J. K. (2008). *Le modèle Toyota: 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise*. Pearson Education France.

- Lin, C., Wu, J.-C., & Yen, D. C. (2012). Exploring barriers to knowledge flow at different knowledge management maturity stages. *Information & Management*, 49(1), 10–23.
- Lin, D., Lee, C. K. M., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management & Data Systems*.
- Lingard, H., Graham, P., & Smithers, G. (2000). Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: implications for company policy implementation. *Construction Management & Economics*, 18(4), 383–393.
- Lins, T., & Oliveira, R. A. R. (2017). Energy efficiency in industry 4.0 using SDN. *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 609–614. IEEE.
- LORENZON, I. A. (2008). *A Medição de Desempenho na Construção Enxuta: estudos de caso. 2008. 219f.* Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em ....
- Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2003). Learning to reduce rework in projects: Analysis of firm's organizational learning and quality practices. *Project Management Journal*, 34(3), 13–25.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
- Lugert, A., Batz, A., & Winkler, H. (2018). Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Lyonnet, B. (2010). *Amélioration de la performance industrielle: vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc*.
- Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. (2017). SLAE–CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. *Sensors*, 17(7), 1500.
- MacDuffie, J. P. (1995). Human resource bundles and manufacturing performance: Organizational logic and flexible production systems in the world auto industry. *Ilr Review*, 48(2), 197–221.
- Maier, A. M., Moultrie, J., & Clarkson, P. J. (2011). Assessing organizational capabilities: reviewing and guiding the development of maturity grids. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 59(1), 138–159.
- Maier, R. R., & Mies, R. (2019). Entwicklung eines Anlaufmodells für das Lean Start-up. *ZWF*

*Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 114(7–8), 455–459.

Malavasi, M., & Schenetti, G. (2017). *Lean manufacturing and Industry 4.0: An empirical analysis between sustaining and disruptive change*.

Marhani, M. A., Jaapar, A., Bari, N. A. A., & Zawawi, M. (2013). Sustainability through lean construction approach: A literature review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 90–99.

Martins, A. S. (2016). *Proposition d'une méthodologie qui intègre les aspects culturels dans la mise en œuvre du Lean Management: Etude comparative France-Brésil*. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM.

Maskell, B. H. (2000). Lean accounting for lean manufacturers. *Manufacturing Engineering*, 125(6), 46.

Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 72(1), 622–628.

McSweeney, A. (2015). Review of data management maturity models. *SlideShare*. Retrieved March.

Mehnen, J., He, H., Tedeschi, S., & Tapoglou, N. (2017). Practical security aspects of the internet of things. In *Cybersecurity for Industry 4.0* (pp. 225–242). Springer.

Melles, B. (1997). What do we mean by lean production in construction. *Lean Construction*, 24–29.

Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673.

Merigó, J. M., Blanco-Mesa, F., Gil-Lafuente, A. M., & Yager, R. R. (2017). Thirty years of the International Journal of Intelligent Systems: A bibliometric review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(5), 526–554.

Merigó, J. M., Cancino, C. A., Coronado, F., & Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108(2), 559–593.

Merigó, J. M., & Yang, J.-B. (2017). A bibliometric analysis of operations research and management science. *Omega*, 73, 37–48.

Meski, O., Laroche, F., Belkadi, F., & Furet, B. (2019). La structuration des connaissances au

service de l'industrie 4.0: Le cas du projet " SmartEmmma". *16ème Colloque National S-Mart/AIP-PRIMECA*.

Metternich, J., Müller, M., Meudt, T., & Schaede, C. (2017). Lean 4.0—zwischen Widerspruch und Vision. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *112*(5), 346–348.

Meudt, T., Metternich, J., & Abele, E. (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Annals*, *66*(1), 413–416.

Meyers, L. S., Gamst, G., & Guarino, A. J. (2006). Applied multivariate research: Design and interpretation Sage Publications. *Inc. Thousand Oaks, CA*.

Miranda, J., Mäkitalo, N., Garcia-Alonso, J., Berrocal, J., Mikkonen, T., Canal, C., & Murillo, J. M. (2015). From the Internet of Things to the Internet of People. *IEEE Internet Computing*, *19*(2), 40–47.

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(3), 1118–1136.

Moghaddam, M., Cadavid, M. N., Kenley, C. R., & Deshmukh, A. V. (2018). Reference architectures for smart manufacturing: a critical review. *Journal of Manufacturing Systems*, *49*, 215–225.

Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia Cirp*, *17*, 9–13.

Moreno, A., Velez, G., Ardanza, A., Barandiaran, I., de Infante, Á. R., & Chopitea, R. (2017). Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *11*(2), 365–373.

Morgan, J., & Liker, J. K. (2006). *The Toyota product development system: integrating people, process, and technology*. Productivity press.

Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software & Systems Modeling*, *15*(1), 17–29.

Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *Procedia Engineering*, *182*, 466–473.

Muhuri, P. K., Shukla, A. K., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *78*, 218–235.

- Mysen, A. G. (2013). Smart products an introduction for design students. *Norwegian University of Science and Technology*.
- Nagapan, S., Rahman, I. A., Asmi, A., Memon, A. H., & Latif, I. (2012). Issues on construction waste: The need for sustainable waste management. *2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER)*, 325–330. IEEE.
- Nagy, J. (2019). Az Ipar 4.0 fogalma és kritikus kérdései–vállalati interjúk alapján. *Vezetéstudomány-Budapest Management Review*, 50(1), 14–26.
- Nave, D. (2002). How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. *Quality Progress*, 35(3), 73–80.
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals*, 61(2), 657–679.
- Netland, T. (2013). Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? *International Journal of Production Research*, 51(4), 1084–1097.
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., ... Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78.
- Niya, S. R., Schiller, E., Cepilov, I., & Stiller, B. (2020). BIIT: Standardization of Blockchain-based IoT Systems in the I4 Era. *NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 1–9. IEEE.
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215–1222.
- Nyhuis, P., Schmidt, M., & Quirico, M. (n.d.). Mythos PPS 4.0. *Handbuch Industrie*, 4, 45–50.
- O’Neil, J. (2001). *Building better Global Economic BRICs*. Goldman sachs.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Olexa, R. (2002). Freudenberg-NOK’s lean journey. *Manufacturing Engineering*, 128(1), 34.
- Ooi, K.-B., Lee, V.-H., Tan, G. W.-H., Hew, T.-S., & Hew, J.-J. (2018). Cloud computing in manufacturing: The next industrial revolution in Malaysia? *Expert Systems with Applications*, 93, 376–394.
- Osmani, M., Glass, J., & Price, A. D. F. (2008). Architects’ perspectives on construction waste

- reduction by design. *Waste Management*, 28(7), 1147–1158.
- Paritala, P. K., Manchikatla, S., & Yarlagadda, P. K. D. V. (2017). Digital manufacturing-applications past, current, and future trends. *Procedia Engineering*, 174, 982–991.
- Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, 744–750.
- Parker, V. (2003). Burt's bees implementation of production processes. *Tribune Business News*, 1, 2–4.
- Parmar, P. S., & Desai, T. N. (2020). Evaluating Sustainable Lean Six Sigma enablers using fuzzy DEMATEL: A case of an Indian manufacturing organization. *Journal of Cleaner Production*, 121802.
- Paulk, M. C. (1995). How ISO 9001 compares with the CMM. *IEEE Software*, 12(1), 74–83.
- Paulk, M. C. (2009). A history of the capability maturity model for software. *ASQ Software Quality Professional*, 12(1), 5–19.
- Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, C. V. (1993). *Capability maturity model for software, version 1.1*. Software Engineering Institute. CMU/SEI-93-TR-24, DTIC Number ADA263403.
- Perales, D. P., Valero, F. A., & García, A. B. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. *Closing the Gap between Practice and Research in Industrial Engineering*, 343–350.
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance Lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810–822.
- Philips, E. (2002). Pros and cons of lean manufacturing. *Forming and Fabricating*, 9(10), 1–5.
- Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. *Sustainable Futures*, 2, 100023.
- Pokorni, B., Schlund, S., Findeisen, S., Tomm, A., Euper, D., Mehl, D., ... Palm, D. (2017). Produktionsassessment 4.0. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112(1–2), 20–24.
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (2011). *What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management*.

- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., ... Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26–40.
- Powell, D., Romero, D., Gaiardelli, P., Cimini, C., & Cavalieri, S. (2018). Towards digital lean cyber-physical production systems: Industry 4.0 technologies as enablers of leaner production. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 353–362. Springer.
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0—a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21–26.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CiRp*, 54, 113–118.
- Prizinsky, D. (2001). Lincoln looks leaner in its manufacturing process. *Crains Cleveland Business*, 22(18), 1–8.
- R. Baldwin & B. Weder di Mauro, E. (2020). Introduction, in ‘Economics in the Time of COVID-19.’ *CEPR, London, chapter 1*, 1–30.
- Radnor, Z., Walley, P., Stephens, A., & Bucci, G. (2006). Evaluation of the lean approach to business management and its use in the public sector. *Scottish Executive Social Research*, 20, 1–6.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98–113.
- Richardson, G. L. (2010). *Project management theory and practice*. Crc Press.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, 6(2), 2158244016653987.
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thürer, M. (2018). Digital lean cyber-physical production systems: the emergence of digital lean manufacturing and the significance of digital waste. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 11–20. Springer.
- Rong, H., & Automation, R. (2014). *The-connected-enterprise-maturity model*.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on

- Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644–1661.
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), 3963–3976.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Rowe, F. (2018). Being critical is good, but better with philosophy! From digital transformation and values to the future of IS research. *European Journal of Information Systems*, 27(3), 380–393.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0—twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, 9(6), 485–500.
- Sachs, J., Magnusson, P., & Simonsson, A. (2012, July 3). *Technique for controlling handovers within a multi-radio wireless communication system*. Google Patents.
- Saldivar, A. A. F., Goh, C., Li, Y., Chen, Y., & Yu, H. (2016). Identifying smart design attributes for Industry 4.0 customization using a clustering Genetic Algorithm. *2016 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 408–414. IEEE.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168–175.
- Samadara, P. D. (2020). Internal Service Quality and Employee Performance. *The International Journal of Social Sciences World (TIJOSSW)*, 2(01), 109–115.
- Samir, L. (2016). *Proposition d'une méthodologie qui intègre les aspects culturels dans la mise en œuvre du Lean Management: Etude comparative France-Brésil*. Paris, ENSAM.
- Samuel, D., Found, P., & Williams, S. J. (2015). How did the publication of the book *The Machine That Changed The World* change management thinking? Exploring 25 years of lean literature. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing:

- Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811–833.
- Sanders, A., Subramanian, K. R. K., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2017). Industry 4.0 and lean management—synergy or contradiction? *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 341–349. Springer.
- Sangasubana, N. (2011). How to conduct ethnographic research. *Qualitative Report*, 16(2), 567–573.
- Santos, J. R. A. (1999). Cronbach's alpha: A tool for assessing the reliability of scales. *Journal of Extension*, 37(2), 1–5.
- Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2018a). Lean production systems for industry 4.0. In *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 43–59). Springer.
- Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2018b). Lean transformation integrated with Industry 4.0 implementation methodology. In *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era* (pp. 97–107). Springer.
- Saunders, M. N. K., & Lewis, P. (2012). *Doing research in business & management: An essential guide to planning your project*. Pearson.
- Savall, H., & Zardet, V. (2004). *Recherche en Sciences de Gestion: Approche Qualimétrique, observer l'objet complexe*.
- Schlichter, J. (1999). Surveying project management capabilities. *PM NETWORK*, 13(1), 39–40.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. *International Conference on Business Information Systems*, 16–27. Springer.
- Schrauf, S. (2016). *Price Waterhouse Coopers: The Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment PWC*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 52(1), 161–166.
- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihm, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 79, 409–414.

- Schwandt, T. A. (2001). Dictionary of qualitative inquiry. In *Dictionary of qualitative inquiry* (pp. xxxiv–281).
- Senaratne, S., & Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka. *Lean Construction Journal*.
- Sevilla, C. G. (2007). *Research Methods* (Quezon City: Rex Printing Company). Diambil pada tanggal.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Krishnaiyer, K. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1–10.
- Shingo, S. (1996). *O sistema Toyota de produção*. Bookman Editora.
- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied Energy*, 195, 234–246.
- Simchi-Levi, D., Schmidt, W., & Wei, Y. (2014). From superstorms to factory fires. *Harvard Business Review*, 92(1), 24.
- Simoni, D. L., & Ceconello, I. (2020). Modelo de maturidade aplicado à células de soldagem robotizada: uma proposta baseada no modelo CMMI. *Scientia Cum Industria*, 8(2), 218–229.
- Sinkovics, R. R., Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2016). Testing measurement invariance of composites using partial least squares. *International Marketing Review*.
- Skoyles, E. R., & Skoyles, J. R. (1987). *Waste prevention on site*. Mitchell London.
- Slim, R., Rémy, H., & Amadou, C. (2018). Convergence and contradiction between lean and Industry 4.0 for inventive design of smart production systems. *International TRIZ Future Conference*, 141–153. Springer.
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 416–432.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0* (Vol. 150). Fraunhofer Verlag Stuttgart.
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard*

*Business Review*, 77, 96–108.

Staats, B. R., Brunner, D. J., & Upton, D. M. (2011). Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider. *Journal of Operations Management*, 29(5), 376–390.

Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. sage.

Staufen, A. G., & der TU Darmstadt, P. T. W. (25AD). Jahre Lean Management–Lean gestern, heute und morgen. *Eine Studie Der Staufen AG Und Des Instituts PTW Der Technischen Universität Darmstadt*.

Sterman, J. (2002). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*.

Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536–541.

Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 344–358.

Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*.

Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 40–45.

Swefie, M. G. (2013). *Improving project performance using lean construction in Egypt: a proposed framework*.

Szalavetz, A. (2019). Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 384–395.

Taggart, P., & Kienhöfer, F. (2013). The effectiveness of lean manufacturing audits in measuring operational performance improvements. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(2), 140–154.

Tao, F., & Qi, Q. (2017). New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 81–91.

Taylor, A. (2007). COVER STORIES-AMERICA'S MOST ADNIRED COMPANIES-America's Best Car Company-Fifty years ago GM was king and Toyota was a joke. Not anymore.

- Here's how Toyota was reborn in the US. *Fortune*, 155(5), 98.
- Team, C. P. (2010). *CMMI for Services, Version 1.3*. Software Engineering Institute Carnegie Mellon. Retrieved October 9, 2012.
- Teegavarapu, S., Summers, J. D., & Mocko, G. M. (2008). Case study method for design research: A justification. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 43284, 495–503.
- Teo, M. M. M., & Loosemore, M. (2001). A theory of waste behaviour in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 19(7), 741–751.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2017). Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges. In *Cybersecurity for Industry 4.0* (pp. 1–33). Springer.
- Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., & Lennartson, B. (2017). An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1297–1311.
- Todd, P. (2000). Lean manufacturing: building the lean machine. *Journal of Advanced Manufacturing*, 12, 1–12.
- Tool, L. E. S.-A. (2001). Version 1.0. *Facilitator's Guide*.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987.
- Tortorella, G. L., Pradhan, N., Macias de Anda, E., Trevino Martinez, S., Sawhney, R., & Kumar, M. (2020). Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines. *International Journal of Production Research*, 1–14.
- Tortorella, G., Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I. C., Tlapa, D., & Thurer, M. (2020). Towards the proposition of a Lean Automation framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Tsang, E. W. K. (2014). Case studies and generalization in information systems research: A critical realist perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 23(2), 174–186.
- Tyagi, V., Jain, A., & Jain, P. K. (2020). An integrated approach for multi-period manufacturing planning of job-shops. *International Journal of Manufacturing Research*, 15(2), 148–180.

- Underwood, S. (2016). *Blockchain beyond bitcoin*. ACM New York, NY, USA.
- Urban, W. (2015). Organizational culture assessment as a means of Lean Management maturity diagnosis. *Journal of Management and Finance*, 13(4), 131–139.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.
- Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. (n.d.). *Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies*.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). VOSviewer: A computer program for bibliometric mapping. *Larsen B, Leta J. Proceedings of the 12th International Conference on Scientometrics and Informetrics*, 886–897.
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1–20.
- Velicer, W. F., & Fava, J. L. (1998). Affects of variable and subject sampling on factor pattern recovery. *Psychological Methods*, 3(2), 231.
- Veloso, M., Biswas, J., Coltin, B., Rosenthal, S., Kollar, T., Mericli, C., ... Ventura, R. (2012). Cobots: Collaborative robots servicing multi-floor buildings. *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 5446–5447. IEEE.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*, 157–178.
- Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: the Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, 116, 150–156.
- Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., & Ten Hompel, M. (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4. Allgemeine Grundlagen*, 2.
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia Cirp*, 63, 125–131.
- Walsham, G. (2006). Doing interpretive research. *European Journal of Information Systems*, 15(3), 320–330.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805.

- Wang, W., & Lu, Z. (2013). Cyber security in the smart grid: Survey and challenges. *Computer Networks*, 57(5), 1344–1371.
- Weber, R. H., & Weber, R. (2010). General Approaches for a Legal Framework. In *Internet of Things* (pp. 23–40). Springer.
- WHO. (2020). Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report–1. *Novel Coronavirus: World Health Organisation*.
- Wieringa, R. (2009). Design science as nested problem solving. *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology*, 1–12.
- Witte, E. (1981). Die Unternehmenskrise—Anfang vom Ende oder Neubeginn. *Unternehmenskrisen—Ursachen, Früherkennung, Bewältigung, Stuttgart*, 7–24.
- Womack, J., & Jones, D. T. (1990). Roos. *The Machine That Changed the World*, Rawson Associates, New York.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard Business Review*, 74(5), 140.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking (2003 Editi.)*. London: Simon & Schuster UK Ltd.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.
- Xu, G., Li, M., Chen, C.-H., & Wei, Y. (2018). Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. *Automation in Construction*, 93, 123–134.
- Xu, Y., Chen, G., & Zheng, J. (2016). An integrated solution—KAGFM for mass customization in customer-oriented product design under cloud manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(1–4), 85–101.
- Yew, A. W. W., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2016). Towards a griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 39, 43–55.

- Yin, R. K. (1994). Case study research design and methods applied. *Social Research Methods Series*, 5.
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, 19(3), 321–332.
- Yue, C. A., Men, L. R., & Ferguson, M. A. (2019). Bridging transformational leadership, transparent communication, and employee openness to change: The mediating role of trust. *Public Relations Review*, 45(3), 101779.
- Zainal, Z. (2007). Case study as a research method. *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1).
- Zanero, S. (2017). Cyber-physical systems. *Computer*, 50(4), 14–16.
- Zhang, J., Ding, G., Zou, Y., Qin, S., & Fu, J. (2019). Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(4), 1809–1830.
- Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., ... Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137–150.
- Zikopoulos, P., & Eaton, C. (2011). *Understanding big data: Analytics for enterprise class hadoop and streaming data*. McGraw-Hill Osborne Media.
- Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129–138.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.



## *ANNEXES*

## ANNEXE A: l'article de la publication dans une revue C: recherche économique et managériale avec la promesse de publication

### An analytical study of Lean management implementation on construction companies in Algeria

دراسة تحليلية لتطبيق اللين مناجمنت في شركات البناء بالجزائر

**ELAFRI NEDJWA**, affiliation :phd student at (Project management department, architecture, villes,formations et métiers laboratory, university of salah boubnider ,Constantine 3 , Constantine ,Algeria), Email address: [nedjwa.elfri@univ-constantine3.dz](mailto:nedjwa.elfri@univ-constantine3.dz)

**SASSI BOUDEMAGH Souad**,affiliation: professor at (Project management department, architecture, villes,formations et métiers laboratory , university of salah boubnider ,Constantine 3 , Constantine ,Algeria), Email Addrees:[souad44@hotmail.com](mailto:souad44@hotmail.com)

Received: .././.... ; Accepted for reviewing: .././... ; Accepted for publishing:

**Abstract:** *Lean is a new management technique that has been successfully implemented in many countries to increase the probability of a project success. A questionnaire-based survey was used to elicit the attitude of stakeholders into 36 Algerian construction companies, towards factors affecting the performance of construction projects and investigating the perception and application of Lean construction techniques and principles as an approach for improving performance of construction companies in Algeria.*

**.keyword:** construction companies; performance; Lean management; ALGERIA.

**JEL classification code :** XN1, XN2

#### ملخص:

اللين هي تقنية إدارية جديدة تم تنفيذها بنجاح في العديد من البلدان لزيادة احتمالية نجاح المشروع هذا البحث هو أول دراسة في الجزائر تدرس فعالية تنفيذ اللين مناجمنت على جودة أداء شركات المقاولات الجزائرية. لغرض تحقيق الهدف من هذه المقالة ؛ تم استخدام استطلاع قائم على الاستبيان لاستنباط موقف أصحاب المصلحة في 36 شركة بناء بالجزائر ، تجاه العوامل التي تؤثر على أداء مشاريع

البناء والتحقيق في تصور وتطبيق تقنيات ومبادئ اللين مناجمت مقارنة لتحسين أداء شركات البناء في الجزائر

الكلمات المفتاحية : شركات البناء ؛ جودة الاداء ؛ اللين مناجمت ؛ الجزائر .

لتصنيف EL : XN1، XN2

Corresponding author: ELAFRI, e-mail: [nedjwa.elfri@univ-constantine3.dz](mailto:nedjwa.elfri@univ-constantine3.dz)

## 1. Introduction :

Despite the positive impact of the construction projects on achieving the objectives of social and economic development of countries, it is always followed by different challenges in which 70% of projects are exposed to time delay, 14% of projects risk to cost overruns, and 10% of projects' materil cost are wasted. According to world statistics in 2010, it was noticed that 45% of the world energy and 50% of the water have been consumed by the construction industry. Moreover, 23% of air pollution, 40% of water pollution and 40% of generating wastes are caused by construction projects. The main reasons of the previous problems are the unsustainable practice used in construction projects and the inappropriate approaches of handling the different types of wastes generated during construction projects. These challenges encouraged many countries to improve their construction practices by applying Lean construction.

Lean concepts are mostly evolved in Japanese Industries, especially from Toyota. Lean Manufacturing is considered to be a waste reduction technique as suggested by many authors, but in practice Lean manufacturing maximizes the value of the product through minimization of waste. Lean principles define the value of the product/service as perceived by the Customer and then make the flow in-line with the customer pull and strive for perfection through continuous improvement to eliminate waste by sorting out Value-Added activity (VA) And Non-Value-Added activity (NVA). Hence, this paper aims at improving the performance and reducing waste of construction projects in Algeria by applying the appropriate Lean concepts.

## 2. Research methodology :

In order to achieve the aim of this paper, literature review was conducted and survey questionnaire, is developed to accomplish four objectives:

- Building a comprehensive background about the research topic through covering problems of the construction projects, waste in construction, and Lean construction.
- Evaluating the impact of factors that affect project performance « cost, time and quality ».
- Investigating the perception and application of Lean construction techniques and principles as an approach for reducing waste in construction; and
- Outlining research conclusions and recommendations for construction stakeholders and providing ideas for future research.

### 3. LEAN background :

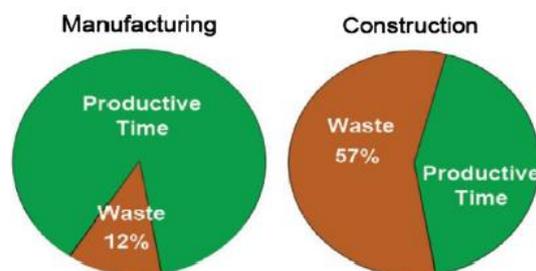
In the hand , There are numerous problems facing the construction projects all over the world. They are famous for being over-widgents, late and burdened with scope creep. Many of the problems facing the construction, such as delays, over-budgeting and poor quality, have been extensively discussed in the literature,UK studies indicated that up to 30% of construction is rework, only 40–60% of potential labor efficiency, accidents can account for 3–6% of total costs, and at least 10% of materials are wasted. In fact, rework is one of the primary factors contributing to the Australian construction industry’s poor performance and productivity (Love, Irani, & Edwards, 2003).

In general, a very high level of wastes/non-Value-Added activities are assumed to exist in construction and it is difficult to measure all waste in construction. (Love et al., 2003)

Similarly, a low priority is assigned to construction waste management and often fewer resources and incentives are made available to facilitate waste management (WM) Processes (Osmani, Glass, & Price, 2008), (Teo & Loosemore, 2001). As a result of waste generation, contractors have to bear the loss of profit due to the involvement of additional over Head costs and delays; loss of productivity due to additional time involvement for cLeaning (Skoyles & Skoyles, 1987); and considerable waste disposal costs (Lingard, Graham, & Smithers, 2000).

Waste measures are more effective to support process management, since they enable some operational costs to be properly modeled and generate information that is usually meaningful for the employees, creating conditions to implement decentralized control. Fig. 1 shows the waste percentages of time in manufacturing and construction.

Figure 55:Waste percentages of time in manufacturing and construction(Marhani, Jaapar, Bari, & Zawawi, 2013)



Source : marhani, jappar, bari and zawawi , 2013

Waste has been defined by Alarcon (Alarcón, 1997) as “Anything different from the absolute minimum amount of resources of materials, equipment and manpower, necessary to add value to the product.”(Alarcón, 1997)

Therefore, construction, being a complex industry, has motivated researchers to introduce new approaches and solutions to relieve the chronic problems in the industry. In this respect, Koskela and Howell (2000) highlighted the reasons behind introducing new methods in construction

management. In their researches, they criticized the current management practice and argued that this approach is inadequate and should be reformed to keep pace with the complexity and uncertainty of the projects (Howell & Koskela, 2000). They argued that traditional thinking of construction management focuses on conversion activities and does not pay attention to flow and value. (Senaratne & Wijesiri, 2008). According to findings by Koskela (Koskela, 1992), these wastes in flow processes of construction such as 'non-conformance quality costs' consume 12% of total project cost; 'poor materials management' causes 10 - 12% of total labor cost; 'time used for non-Value-Adding activities' amounts to 2/3 of total project time; and 'lack of safety' amounts to 6% of total project costs. Thus, the value hindrance by wastes in flow processes of construction is quite evident which, then, triggers the necessity to implement a concept such as Lean Construction like strategic. This philosophy aims to avoid waste of time, money, equipment, effort and improving value through employing and combining existing approaches such as Just in Time (JIT), Total Quality Management (TQM), time-based competition and concurrent engineering (Melles, 1997). Adopting the "Lean Production" philosophy is expected to bring a revolutionary change in the way of work in every industry. Some researchers believed that although Lean production theory was established for manufacturing industry, the similarities between the construction processes and craft manufacturing make Lean production theory very applicable to construction (Farrar, AbouRizk, & Mao, 2004).

In construction, Lean production has been relatively and quickly adopted by contracting companies which are keen to reduce waste in their construction projects.

A study was done in Nigeria to evaluate the effectiveness of implementing some Lean Construction Techniques in construction of 80 housing units. These techniques include Last Planner, Daily Huddle Meetings, and Increase Visualization. Results showed improvements in time management that lead to many savings in the project cost. The project was completed in 62 days using Lean techniques instead of 90 days. Another study took place to show how VSM can improve the performance of civil engineering projects by allowing the site management to visualize the flows of materials, resources and information. This was examined through the fixing of reinforcement in two bridge construction projects. The results showed improvements in lead time, inventory level and cost by approximately 80% (Sachs, Magnusson, & Simonsson, 2012).

In a study conducted by Salem 2006 (Salem, Solomon, Genaidy, & Minkarah, 2006) Lean assessment tool was utilized to assess the implementation of several Lean Construction techniques. The assessment tool evaluates six Lean construction elements: last planner, increased visualization, huddle meetings, first-run studies, five S's, and fail safe for quality, 2006). In the test study, the selected General Contractor agreed to implement and test 6 Lean construction techniques on a parking garage project. Results of the study were tangible in that the project was under budget and three weeks ahead of schedule. (Salem et al, 2006).

To ensure that the expected benefits of applying Lean thinking to construction projects are actually being delivered, evidence should be provided to the concerned stakeholders to encourage them to apply this new approach in Algeria.

#### **4. Results of Data Survey Collection :**

To achieve the goal of this research, a questionnaire was used into 36 companies of construction to investigate the main factors that influence the construction project performance and the employees 'understanding regarding the Lean thinking/techniques in the ALGERIAN construction project.

The questionnaire is structured into three main sections as follows:

Section (A): is structured to investigate general information and background about the respondents' experience.

Section (B): is structured to identify the factors affecting the overall performance of the project in current practice.

Section (C): is structured to examine the respondents' awareness about Lean techniques and their applications in the Algerian construction projects.

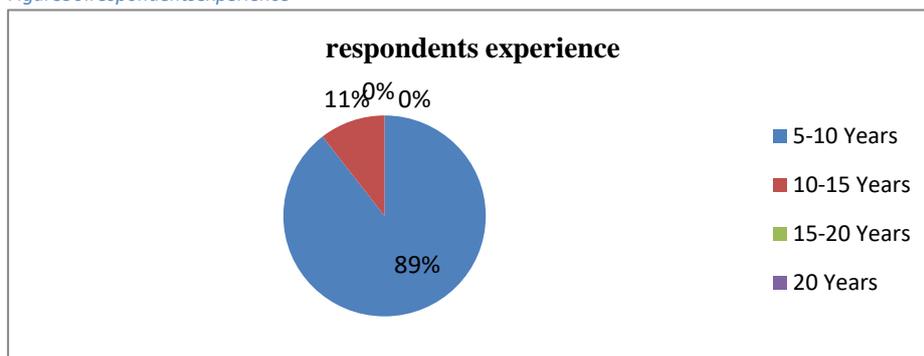
A questionnaire was conducted and sent to 36 respondents in different organizations. Only 20 out of 36 responded to the questionnaire. The main purpose of this questionnaire is to measure the awareness of employees about Lean construction in Algeria.

## 5. Results discussion :

### 1.5. Section A: project information :

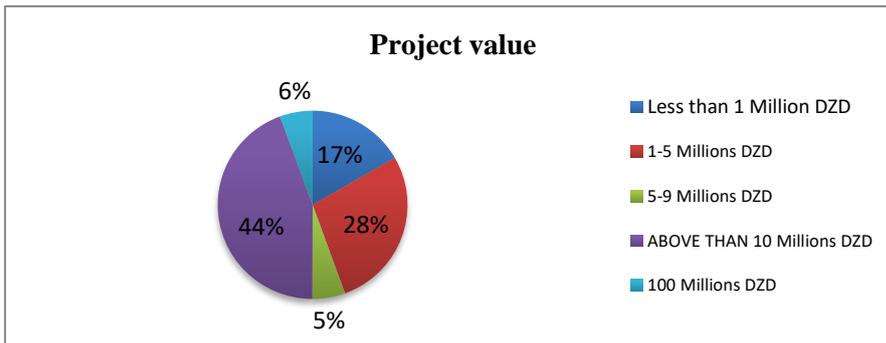
This section is structured to investigate general information about the project and background about the respondents' experience in construction companies. The experience of the respondents varied between 5 years' experience and above 20 as illustrated in figure 2 and 53 % of them have a position of project managers as shown in figure 3 All the projects were new buildings. Most projects values fall above than 10 Million DZD as illustrated Figure 4

Figure56:respondentsexperience



Source : author's traitment ,2019

Figure 3:Project value



Source: author's traitment ,2019

## 2.5. Section B: Factors affecting project performance in construction projects in Algeria

The purpose of section (B) is to identify the factors affecting the overall performance of the project in current practice. The impact of several factors on the project performance encountered the project manager in the operation phase. It shows the frequency of the factors impacting the overall project performance. These factors cause a lot of disruptions to the construction process.

Table 1 shows the frequency of the factors impacting the overall project performance.

Table1 :The frequency of factors impacting the project performance in Algeria.

	Factors Impacting the project Performance	Cost	Time	Quality
1	Change orders by owner during construction (Variations)	84,2%	68,4%	57,9%
2	Rework due to errors during construction	36,8%	78,9%	57,9%
3	Poor site management and supervision by contractor	68,4%	63,2%	57,9%
4	Difficulties in financing project by contractor	73.7%	78.9%	42.1%
5	Poor communication and coordination by contractor with other stakeholders	31.6%	84.2%	68.4%

6	Ineffective planning and scheduling of project by contractor	52.6%	31.6%	100%
7	Poor qualification of the contractor's technical staff	57.9%	47.4%	89.5%
8	Mistakes and discrepancies in design documents	78.9%	89.5%	78.9%
9	-late delivery of materials and equipment	42.1%	84.2%	47.4%
10	Inadequate details in drawings	42.1%	73.7%	63.2%
11	Complexity of project design	57.9%	63.2%	57.9%
12	Insufficient data collection and survey	57.9%	73.7%	57.9%
13	Unqualified workforce	31.6%	78.9%	89.5%

Source: author's treatment ,2019

Respondents were asked to rank the factors, using a Likert scale (1-5), as either 'Very High (5)', 'High (4)', 'Average (3)', 'Low (2)', or 'Very Low (1)'. The following describes the major factors impacted the Cost, Time, and quality, as per the rankings made by the respondents. The major factors impacting the project performance are identified based on the following factors that its frequency of occurrence more than 50 %. Factors with total impacts of average level, high level and very high levels greater than or equal 50% of the total respondents of each factor.

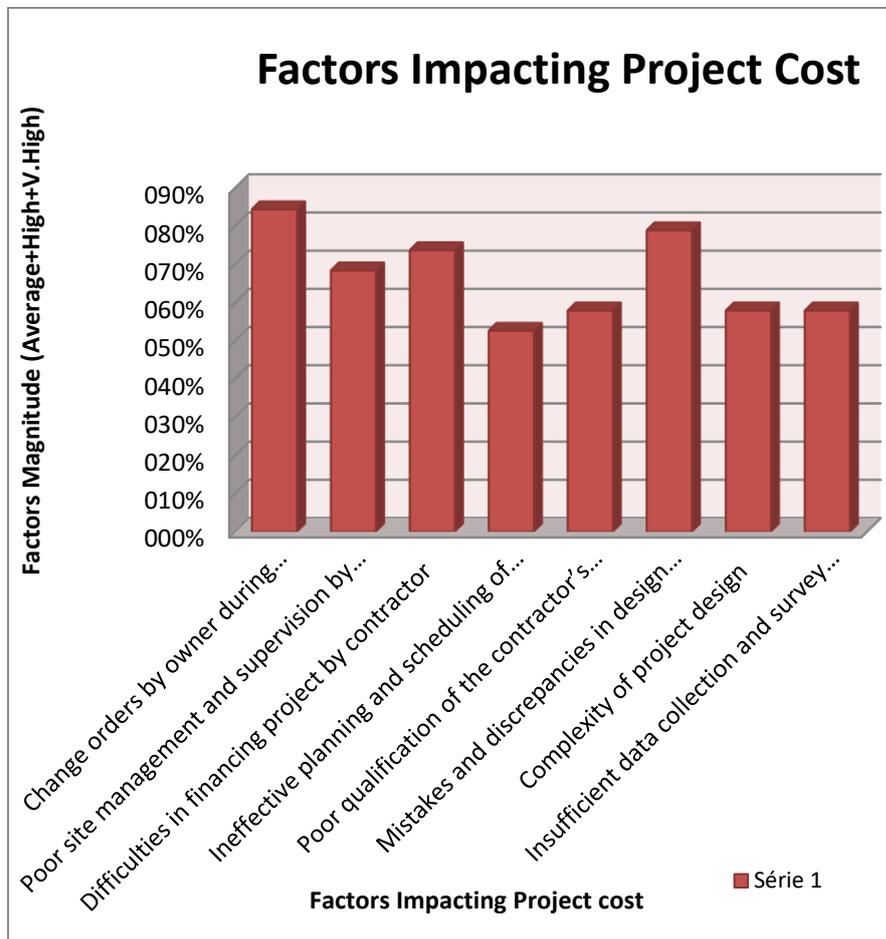
Respondents were asked to rank the factors, using a Likert scale (1-5), as either 'Very High (5)', 'High (4)', 'Average (3)', 'Low (2)', or 'Very Low (1)'. The following describes the major factors impacted the Cost, Time, and quality, as per the rankings made by the respondents. The major factors impacting the project performance are identified based on the following factors that its frequency of occurrence more than 50 %. Factors with total impacts of average level, high level and very high levels greater than or equal 50% of the total respondents of each factor.

▪ **Main Factors Impacting project cost**

As shown in figure5 , the major factors that impact the project cost as per the fore mentioned criteria are (8 factors out of 13 factors):

- Change orders by owner during construction (Variations)
- Poor site management and supervision by contractor
- Difficulties in financing project by contractor
- Ineffective planning and scheduling of project by contractor
- Poor qualification of the contractor's technical staff
- Mistakes and discrepancies in design documents
- Complexity of project design
- Insufficient data collection and survey

Figure 57: Factors impacting the project cost



Source: author's traitment ,2019

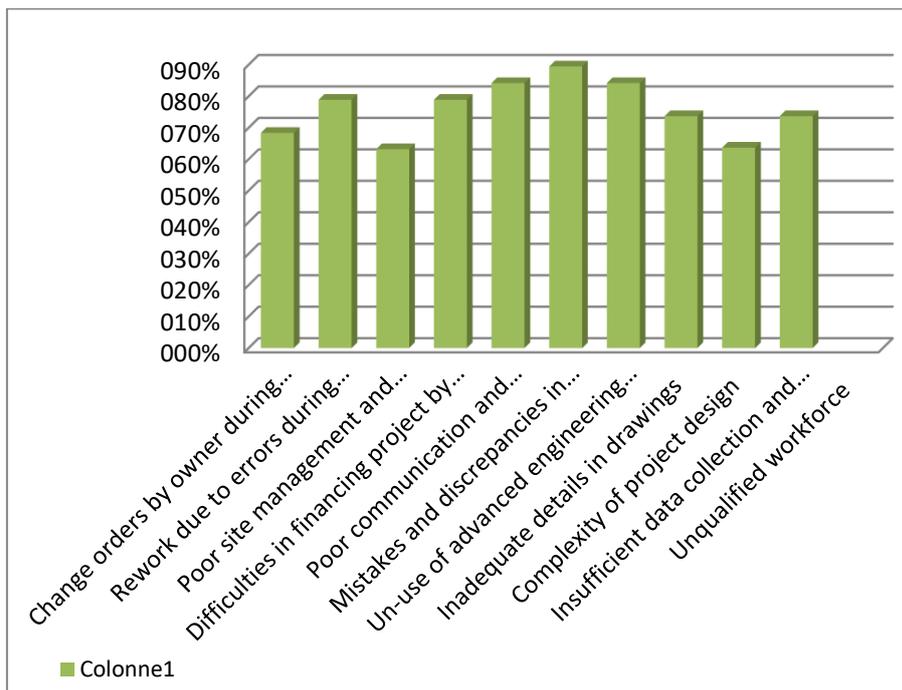
▪ **Main Factors Impacting project time**

For the purpose of this article, the main focus will be on the causes of project delay or the factors impacting the project schedule. The ranking of the causes of time overrun from the Contractor's perspective. It can be concluded that more than 80% of the respondents believe that inadequate

drawings, poor communication by contractor, change orders by owner, discrepancies in design documents, ineffective scheduling, and changes in material specifications during construction are the most factors causing delays and time overrun for a construction project. In the proposed framework, the focus will be in the aforementioned factors to show how using the Lean concept can avoid such delays.

As shown in figure 6, the major factors impacting the project time as per the aforementioned criteria are (10 factors out of 13 factors):

Figure 58: Factors Impacting Project Time

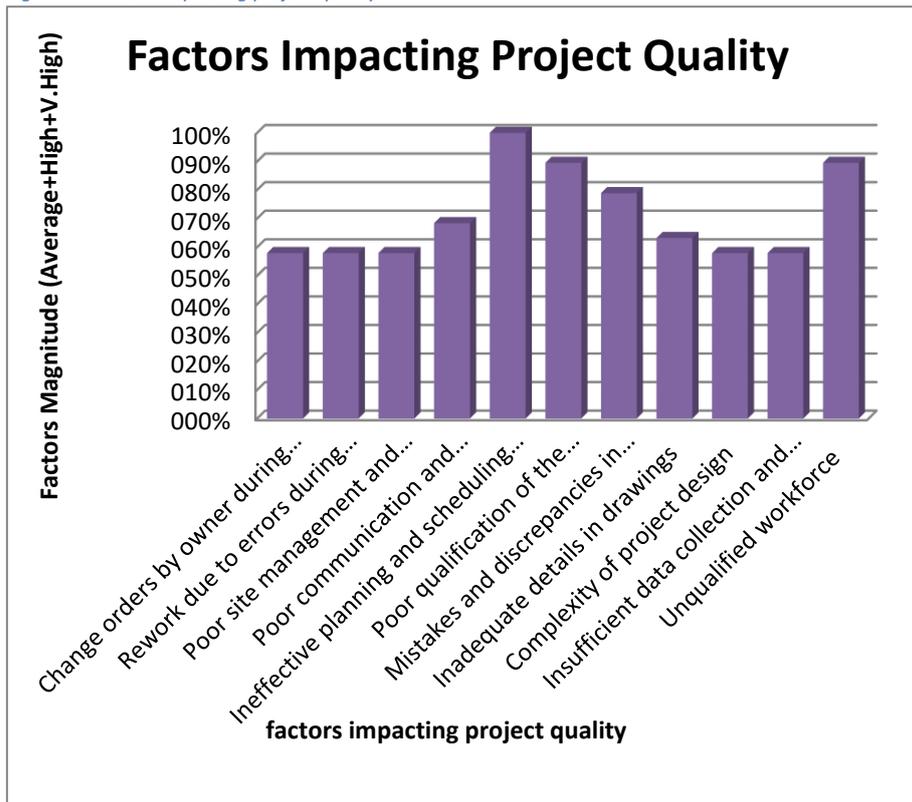


Source: author's treatment, 2019

- **Main Factors Impacting project quality**

As shown in factors);, the major factors impacting the project quality as per the aforementioned criteria are (11 factors out of 13 factors):

Figure 59: Factors impacting project quality



source: author's treatment, 2019

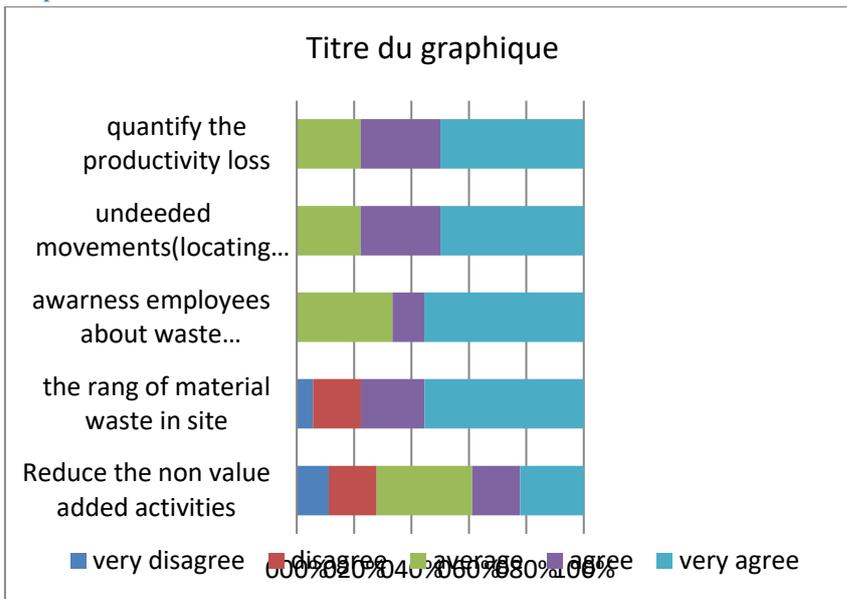
### 3.5. Section C: Respondents' awareness about Lean techniques and their applications in the Algerian construction project

Section (C) is structured to examine the respondents' awareness about Lean techniques and their applications in the Algerian construction projects. The questions examined the different principles of Lean to see the possibility of applying Lean approach to construction projects in Algeria. The following principles were evaluated using a Likert - type scale from 1 (very disagree) To 5 (very agree).

#### 3.5.1. Waste reduction:

Fig.8 shows the rating of each principle related to waste reduction in Algerian construction companies. It can be concluded that more effort should be done to increase the awareness of employees on site about waste reduction as 55% of the respondents believe that the people awareness about waste reduction is either low or very low. Also, more focus should be given to decrease the material waste on site as 75 % of the respondents believe it is either agree or very agree. The concern to reduce the non-added value activities and undeeded movements (locating storage) should be improved. Also, the quantification of the material loss and productivity loss should be highly considered.

Figure 60: Respondent's awareness about waste reduction techniques and their applications in the Algerian construction companies

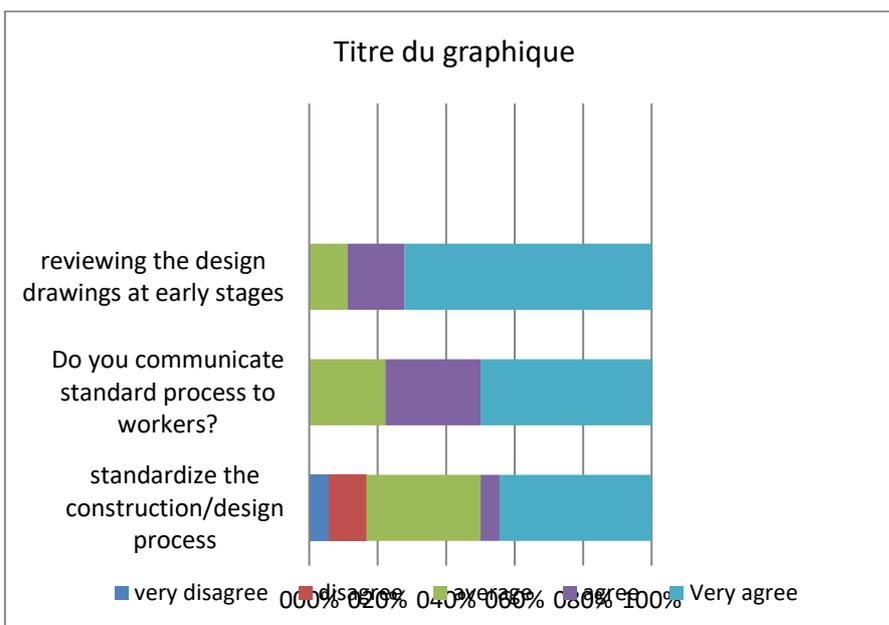


source: author's traitment,2019

### 3.5.2. Reduce Variability:

Fig.9 shows the rating of each principle related to reduction of variability. It was concluded that much concern was given to process standardization in organizations which reflects their potential for adopting some of the Lean construction techniques.

Figure 61: Respondent's awareness about reduce variability techniques and their applications in the Algerian construction companies



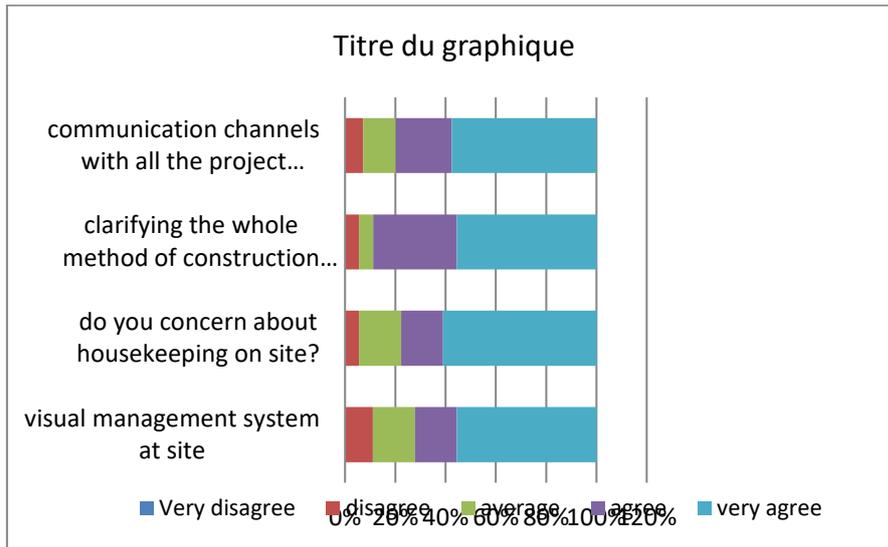
author's traitment,2019

source:

### 3.5.3. Increase transparency :

Fig.10 shows the rating of each principle related to increase transparency ,so questions measured the awareness of the respondents about increase transparency . It can be concluded from the responses that the awareness of 57,6% of the respondents is very agree while more than 80% is agree for using increase transparency techniques as shown in figure 10.

Figure 62::Respondent's awaerness about increase transparency techniques and their applications in the algerian construction companies

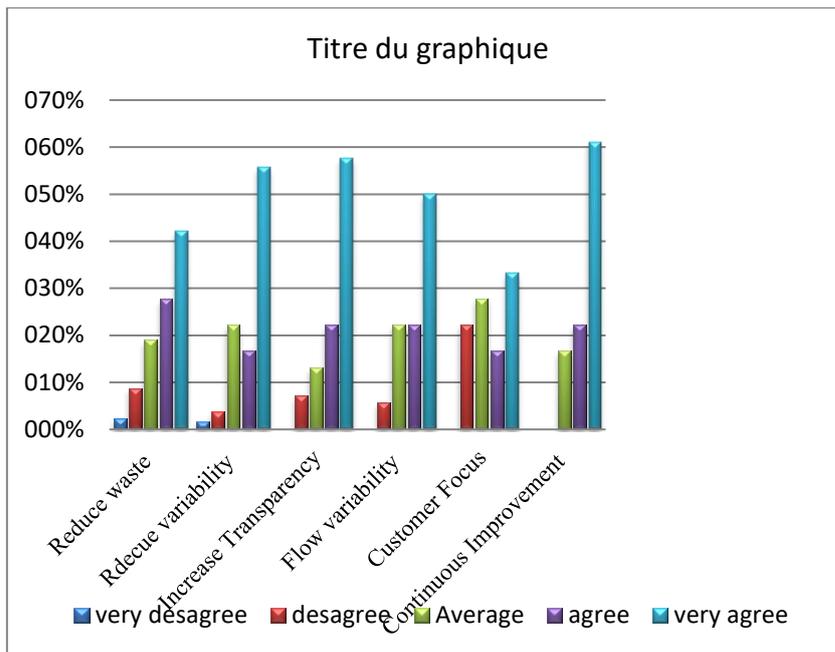


source: author's traitment,2019

### 3.5.4. Respondents' awareness about Lean techniques and their Applications in the Algerian construction companies :

Figure 11 shows the rating of each principle related to Respondents' awareness about Lean techniques and their Applications in the Algerian construction companies.

Figure 63: Respondents' awareness about Lean techniques and their Applications in the Algerian construction companies



source: author's treatment, 2019

Figure 11 shows the rating of each principle related to Respondents' awareness about Lean techniques and their Applications in the Algerian construction companies. It can be concluded that more efforts should be done to increase the awareness of employees on site about waste reduction as 69,85% of the respondents believe that the people awareness about waste reduction is either low or very low. Also, it was deduced that much concern was given to process standardization within the projects in the same organization which reflects their potential for adopting some of the Lean construction techniques as 72,4% of the respondents believe it is high or very high. The concern to increase the process visualization on the site should be improved using visual management tools, signs only as more than 79% of the respondents are not deploying visual management in their projects. Also, the quantification of the material loss and productivity loss should be highly considered. Moreover, the concept of flow variability needs improvement to be more efficient because the just-in-time method is barely used on a construction project in Algeria as well as the concept of work flexibility. On the contrary, there is decent potential for using the schedule look-ahead to improve the process work flow as more than 52% of respondents are almost using this technique. Furthermore, it can be concluded that there are huge attention and consideration for the customer focus approach in most of the projects, from the responses that the awareness of 50% of the respondents is high or very high while 22,7 % is low. Finally, there is noticeable potential for adopting most of the techniques related to the continuous improvement. more than 83% answer with agree or very agree. Thus result gives indication that these techniques are either not efficiently implemented or not totally implemented in the Algerian construction projects and with some more effort their efficiency will be increased. Therefore, these techniques should be examined in Algeria to see its impact on the project performance,

## 6. Conclusion :

The construction sector is considered one of the sectors worldwide. It plays a major role towards achieving the objectives of sustainable development nationally and internationally. However, the construction sector is blamed for its negative impact on the environment. One of the pressing issues is the waste generated in construction projects.

this paper aimed to investigate the role of Lean Construction concept towards reducing construction waste in the Algerian construction projects. A questionnaire-based survey was used to elicit the attitude of project managers, architect, site supervisor and engineers towards factors affecting the performance of construction projects and investigating the perception and application of Lean construction techniques and principles as an approach for reducing waste in construction projects in Algeria. 36 questionnaires were distributed 20 questionnaires (56%) were returned.

Results indicated that the most important factors agreed with respondents as the main factors affecting the performance of construction projects in Algeria were: Change orders by the owner during construction (Variations), mistakes and discrepancies in design documents and unqualified workforce.

On the other hand, the Lean principles and techniques are either not efficiently implemented or totally implemented in the Algerian construction projects and with some more effort their efficiency will be increased. Therefore, these techniques should be examined in Algeria to see its impact on the project performance.

### List of Figures:

Figure 1:Waste percentages of time in manufacturing and construction(Marhani, Jaapar, Bari, & Zawawi, 2013) .....	251
Figure2:respondentsexperience .....	253
Figure3:Respondent'sprofession .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 4:Project value.....	254
Figure 5: Factors impacting the project cost.....	256
Figure 6:Factors Impacting Project Time .....	257
Figure 7:Factors impacting project quality .....	source: author's traitment,2019 .....
Figure 8:Respondent's awaerness about waste reduction techniques and their applications in the algerian construction companies .....	258
Figure 9:Respondent's awaerness about reduce variability techniques and their applications in the algerian construction companies.....	259
Figure 10::Respondent's awaerness about increase transparency techniques and their applications in the algerian construction companies .....	260
Figure 11:Respondents' awareness about Lean techniques and their Applications in the Algerian construction companies.....	261

### List of tables:

Table 1:The frequency of factors impacting the project performance in Algeria.	254
--	-----

## 7. References :

### • Articles:

- Adolph, S., Tisch, M., & Metternich, J. (2014). Challenges and approaches to competency development for future production. *Journal of International Scientific Publications–Educational Alternatives*, 12(1), 1001–1010.
- Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J., & Mertiny, P. (2018). Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping. *Procedia Manufacturing*, 23, 237–242.
- Aibinu, A. A., & Jagboro, G. O. (2002). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management*, 20(8), 593–599.
- Alarcón, L. F. (1997). Tools for the identification and reduction of waste in construction projects. *Lean Construction*, 5, 365–377.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.
- Amaratunga, D., Baldry, D., Sarshar, M., & Newton, R. (2002). Quantitative and qualitative research in the built environment: application of “mixed” research approach. *Work Study*.
- Anderl, R. (2014). Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. *Proceedings of International Seminar on High Technology*, 19.
- Anderl, R., Anokhin, O., & Arndt, A. (2018). Efficient Factory 4.0 Darmstadt—Industrie 4.0 Implementation for Midsize Industry. In *The Internet of Things* (pp. 117–131). Springer.
- Andersen, E. S., & Jessen, S. A. (2003). Project maturity in organisations. *International Journal of Project Management*, 21(6), 457–461.
- Antony, J., Rodgers, B., & Cudney, E. A. (2019). Lean Six Sigma in policing services: case examples, lessons learnt and directions for future research. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(5–6), 613–625.
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*.
- Aris, R., & Penn, M. (1980). The mere notion of a model. *Mathematical Modelling*, 1(1), 1–12.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., & Persona, A. (2012). Sequencing procedure for balancing the workloads variations in case of mixed model assembly system with multiple secondary feeder lines. *International Journal of Production Research*, 50(21), 6081–6098.
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128–137.
- Baglin, G., & Capraro, M. (2000). *L’entreprise LEAN Production ou la PME compétitive par l’action*

*collective.*

- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143.
- Baron, S., Harris, K., & Elliott, D. (2005). Crisis management and services marketing. *Journal of Services Marketing*.
- Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., & Vocke, C. (2015). Transforming to a hyper-connected society and economy—towards an “Industry 4.0.” *Procedia Manufacturing*, 3, 417–424.
- Bayhan, H. G., Demirkesen, S., & Jayamanne, E. (2019). Enablers and Barriers of Lean Implementation in Construction Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2), 22002. IOP Publishing.
- BearingPoint, G. (2017). Lean 4.0—Schlank durch Digitalisierung. *H UND V JOURNAL*, 69(1), 30–31.
- Beaudoin, J., Lefebvre, G., Normand, M., Gouri, V., Skerlj, A., Pellerin, R., ... Danjou, C. (2016). *Prendre part à la révolution manufacturière? Du rattrapage technologique à l’Industrie 4.0 chez les PME*. Centre francophone d’informatisation des organisations (CEFRIO).
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing maturity models for IT management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222.
- Becker, T., Burghart, C., Nazemi, K., Ndjiki-Nya, P., Riegel, T., Schäfer, R., ... Wissmann, J. (2014). Core technologies for the internet of services. In *Towards the Internet of Services: The THESEUS Research Program* (pp. 59–88). Springer.
- Belhadi, A., & Touriki, F. E. (2017). Prioritizing the solutions of lean implementation in SMEs to overcome its barriers. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Bell, E., Bryman, A., & Harley, B. (2018). *Business research methods*. Oxford university press.
- Bhasin, S. (2013). Analysis of whether Lean is viewed as an ideology by British organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Bhaskar, R. (2013). *A realist theory of science*. Routledge.
- Bhattacharjee, A. (2012). *Social science research: Principles, methods, and practices*.
- Biao, W., ZHAO, J., WAN, Z., Hong, L. I., & Jian, M. A. (2016). Lean intelligent production system and value stream practice. *DEStech Transactions on Economics, Business and Management*, (icem).
- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030–1043.
- Bick, W. (2014). Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. *VDI-Z*, 156(11), 46–47.
- Birks, M., & Mills, J. (2015). *Grounded theory: A practical guide*. Sage.
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 904–909.

- Bloss, R. (2016). Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programming ease, portability and cost while addressing many new applications. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Borgmeier, A., Grohmann, A., & Gross, S. F. (2017). *Smart Services und Internet der Dinge: Geschäftsmodelle, Umsetzung und Best Practices: Industrie 4.0, Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine, Big Data, Augmented Reality Technologie*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700–5705.
- Bösenberg, D., & Metzen, H. (1994). *Le lean management: alléger structures et coûts pour muscler l'organisation*. Les éd. d'organisation.
- Bossert, J. (2003). Lean and Six Sigma-synergy made in heaven. *Quality Progress*, 36(7), 31.
- Boyer, R., Charron, E., Jurgens, U., & Tolliday, S. (1998). *Between imitation and innovation: The transfer and hybridization of productive models in the international automobile industry*. OUP Oxford.
- Braccini, A. M., & Margherita, E. G. (2019). Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. *Sustainability*, 11(1), 36.
- Brantly, W., & Womack, B. (1991). *Contemporary Chinese politics in historical perspective*. Cambridge University Press.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37–44.
- Brockner, J., & James, E. H. (2008). Toward an understanding of when executives see crisis as opportunity. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 44(1), 94–115.
- Brown, C. J. (2008). A comprehensive organisational model for the effective management of project management. *South African Journal of Business Management*, 39(3), 1–10.
- Bruun, P., & Mefford, R. N. (2004). Lean production and the Internet. *International Journal of Production Economics*, 89(3), 247–260.
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940.
- Cahyanto, I., Wiblishauser, M., Pennington-Gray, L., & Schroeder, A. (2016). The dynamics of travel avoidance: The case of Ebola in the US. *Tourism Management Perspectives*, 20, 195–203.
- Caldera, H. T. S., Desha, C., & Dawes, L. (2019). Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in 'lean' SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 218, 575–590.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network

- of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155–205.
- Chahal, V., & Narwal, M. (2017). Impact of lean strategies on different industrial lean wastes. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 12(2), 275–286.
- Chambers, S., JOHNSTON, R., & SLACK, N. (2002). *Administração da produção*. São Paulo: Atlas.
- Checkland, P., & Holwell, S. (1998). *Information, systems, and information systems*. John Wiley & Sons Chichester.
- Chen, T., & Lin, Y. (2017). Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3D printing: a review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(4), 394–413.
- Ciano, M. P., Pozzi, R., Rossi, T., & Strozzi, F. (2019). How IJPR has addressed 'lean': a literature review using bibliometric tools. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 5284–5317.
- Cimini, C., Pinto, R., Pezzotta, G., & Gaiardelli, P. (2017). The transition towards industry 4.0: business opportunities and expected impacts for suppliers and manufacturers. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 119–126. Springer.
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F., & Yao, X. (2019). *Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era*. Springer.
- Conti, M., Passarella, A., & Das, S. K. (2017). The Internet of People (IoP): A new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing*, 41, 1–27.
- Cooke-Davies, T J, Schlichter, J., & Bredillet, C. (2001). Beyond the PMBOK guide. *Proceedings of the 32nd Annual Project Management Institute 2001 Seminars and Symposium, Nashville, TN*.
- Cooke-Davies, Terence J, & Arzymanow, A. (2003). The maturity of project management in different industries: An investigation into variations between project management models. *International Journal of Project Management*, 21(6), 471–478.
- Coombs, W. T. (2007). Protecting organization reputations during a crisis: The development and application of situational crisis communication theory. *Corporate Reputation Review*, 10(3), 163–176.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- Crotty, M., & Crotty, M. F. (1998). *The foundations of social research: Meaning and perspective in the research process*. Sage.
- Curtis, B., & Weber, C. V. (1995). *The capability maturity model: Guidelines for improving the software process*. Addison-Wesley Professional.
- Cusumano, M. A. (1985). *The Japanese automobile industry: Technology and management at Nissan and Toyota*.

- Cusumano, M. A., Nobeoka, K., & Kentaro, N. (1998). *Thinking beyond lean: how multi-project management is transforming product development at Toyota and other companies*. Simon and Schuster.
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing, 11*, 1288–1295.
- De Bruin, T., Rosemann, M., Freeze, R., & Kaulkarni, U. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*; 8–19. Australasian Chapter of the Association for Information Systems.
- de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change, 132*, 18–25.
- De Vaus, D., & de Vaus, D. (2013). *Surveys in social research*. Routledge.
- del Rio-Chanona, R. M., Mealy, P., Pichler, A., Lafond, F., & Farmer, D. (2020). Supply and demand shocks in the COVID-19 pandemic: An industry and occupation perspective. *ArXiv Preprint ArXiv:2004.06759*.
- Devezas, T., & Sarygulov, A. (2017). *Industry 4.0*. Springer.
- Dixon, J. C., Singleton, R., & Straits, B. C. (2016). *The process of social research*. Oxford University Press, USA.
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean production systems: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing, 11*, 1061–1068.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). *Industrie 4.0: hit or hype?*[industry forum]. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Industrial Electronics Magazine 8 (2)*: 56–58.
- Dubois, A., & Gadde, L.-E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research, 55(7)*, 553–560.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R., & Jackson, P. R. (2012). *Management research*. Sage.
- Ejsmont, K., & Gładysz, B. (2020). Lean Industry 4.0—Wastes Versus Technology Framework. *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 537–546. Springer.
- Ejsmont, K., Gladysz, B., Corti, D., Castaño, F., Mohammed, W. M., & Lastra, J. L. M. (2020). Towards ‘Lean Industry 4.0’—Current trends and future perspectives. *Cogent Business & Management, 7(1)*, 1781995.
- Elliott, D., & McGuinness, M. (2002). Public inquiry: panacea or placebo? *Journal of Contingencies and Crisis Management, 10(1)*, 14–25.
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0—Competencies for a modern production system: A curriculum for learning factories. *Procedia Manufacturing, 23*, 267–272.
- Fan, W., Chen, Z., Xiong, Z., & Chen, H. (2012). The Internet of data: a new idea to extend the IOT in the digital world. *Frontiers of Computer Science, 6(6)*, 660–667.

- Farrar, J. M., AbouRizk, S. M., & Mao, X. (2004). Generic implementation of lean concepts in simulation models. *Lean Construction Journal*, 1(1), 1–23.
- Fasting, M. S. (2019). *Industry 4.0 in Waste Management*. NTNU.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633–644.
- Faulkner, B. (2001). Towards a framework for tourism disaster management. *Tourism Management*, 22(2), 135–147.
- Ferenhof, H. A., & Fernandes, R. F. (2016). Demystifying literature review as a basis for scientific writing: the SSF method. *Revista ACB*, 21(3), 550–563.
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. de, & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255–268.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.
- Floridi, L. (2008). *The Blackwell guide to the philosophy of computing and information*. John Wiley & Sons.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Fraser, P., Moultrie, J., & Gregory, M. (2002). The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. *IEEE International Engineering Management Conference*, 1, 244–249. IEEE.
- Frigg, R., & Hartmann, S. (2006). *Models in science*.
- Fujimoto, T. (1989). Organizations for Effective Product Development: The Case of the Global Automobile Industry. *DBA Dissertation, Harvard Business School*.
- García-Alcaraz, J. L., Maldonado-Macías, A. A., & Cortes-Robles, G. (2014). *Lean manufacturing in the developing world*. Springer.
- Gato, E., Vázquez-Ucha, J. C., Rumbo-Feal, S., Álvarez-Fraga, L., Vallejo, J. A., Martínez-Gutián, M., ... Pérez-Vázquez, M. (2020). Kpi, a chaperone-usher pili system associated with the worldwide-disseminated high-risk clone *Klebsiella pneumoniae* ST-15. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(29), 17249–17259.
- Gavard-Perret, M.-L., Gotteland, D., Haon, C., & Jolibert, A. (2008). *Méthodologie de la recherche*. Editions Pearson Education France.
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Retrieved from PwC Website: <https://www.pwc.com/Gx/En/Industries/Industries-4.0/Landing-Page/Industry-4.0-Building-Your-Digital-Enterprise-April-2016.Pdf>.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869.

- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer.
- Goienetxea Uriarte, A., Ng, A. H. C., & Urenda Moris, M. (2020). Bringing together Lean and simulation: a comprehensive review. *International Journal of Production Research*, 58(1), 87–117.
- Gothelf, J. (2013). *Lean UX: Applying lean principles to improve user experience*. “ O’Reilly Media, Inc.”
- Grayson, K. J., & Anderson, J. L. R. (2018). Designed for life: biocompatible de novo designed proteins and components. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(145), 20180472.
- Gutierrez, F. B. (2020). *Comment les nouvelles pratiques de gestion mises en place pour faire face à la pénurie de main-d’œuvre dans le secteur des technologies de l’information et des communications contribuent à la transformation de la culture organisationnelle d’une firme conseil en TIC?*
- Haig, B. D. (2018). An abductive theory of scientific method. In *Method matters in psychology* (pp. 35–64). Springer.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis: Pearson new international edition*. Essex: Pearson Education Limited.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis (Vol. 6): Pearson Prentice Hall Upper Saddle River*. NJ.
- Hambach, J., Kümmel, K., & Metternich, J. (2017). Development of a digital continuous improvement system for production. *Procedia CIRP*, 63, 330–335.
- Hammer, M. (2007). The process audit. *Harvard Business Review*, 85(4), 111.
- Hayes, C. (2013). The Lean Handbook: A Guide to the Bronze Certification Body of Knowledge. *Lean & Six Sigma Review*, 12(2), 28.
- He, W., & Xu, L. (2015). A state-of-the-art survey of cloud manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(3), 239–250.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. IEEE.
- Hills, A. (1998). Seduced by recovery: The consequences of misunderstanding disaster. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 6(3), 162–170.
- Hines, P, Dimancescu, D., & Rich, N. (1997). *The Lean Enterprise*. Amacom, New York, NY.
- Hines, Peter, & Lethbridge, S. (2008). New development: creating a lean university. *Public Money and Management*, 28(1), 53–56.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.
- Hohmann, C. (2012). *Lean management: outils, méthodes, retours d’expériences, questions/réponses*. Editions Eyrolles.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2),

420–437.

- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, *146*, 119–132.
- Hounshell, D. (1985). *From the American system to mass production, 1800-1932: The development of manufacturing technology in the United States*. JHU Press.
- How Process Improvement Institute is Adapting to the COVID-19 Pandemic. (2020). Retrieved June 8, 2020, from <https://www.process-improvement-institute.com/how-process-improvement-institute-is-adapting-to-the-covid-19-pandemic/>
- Howell, G. A. (1999). What is lean construction-1999. *Proceedings IGLC*, *7*, 1. Citeseer.
- Howell, G. A., & Koskela, L. (2000). *Reforming project management: the role of lean construction*.
- Hu, H., Wen, Y., Chua, T.-S., & Li, X. (2014). Toward scalable systems for big data analytics: A technology tutorial. *IEEE Access*, *2*, 652–687.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*. Springer.
- Humphrey, W. S. (1993). *Introduction to Software Process Improvement*. CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST.
- IHI. (2005). *Going Lean in Health Care. IHI Innovation Series White Paper*. Institute for Healthcare Improvement Cambridge, MA.
- Intezari, A., & Gressel, S. (2017). Information and reformation in KM systems: big data and strategic decision-making. *Journal of Knowledge Management*.
- Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, *53*(3), 867–885.
- Jones, C., & Pimdee, P. (2017). Innovative ideas: Thailand 4.0 and the fourth industrial revolution. *Asian International Journal of Social Sciences*, *17*(1), 4–35.
- Junior, J. A. G., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., & Carreão, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 372–382.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23–45). Springer.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 408–425.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2018). Coming of age digitally: Learning, leadership, and legacy. *MIT Sloan Management Review and Deloitte Insights*.

- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., & Ramsauer, C. (2017). Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing*, 9, 206–213.
- Kearney, A. (2018). Readiness for the future of production report 2018. *World Economic Forum*.
- Ketteler, D., & König, C. (2017). Lean 4.0–Schlank durch Digitalisierung. *Frankfurt Am Main, Germany: BearingPoint GmbH*.
- Kiel, D., Arnold, C., & Voigt, K.-I. (2017). The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective. *Technovation*, 68, 4–19.
- Kocian, J., Tutsch, M., Ozana, S., & Koziorek, J. (2012). Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. In *Frontiers in Computer Education* (pp. 491–499). Springer.
- Koether, R., & Meier, K.-J. (2017). *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*. Springer.
- Kohler, D., & Weisz, J. D. (2016). Industrie 4.0-Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand [Industry 4.0: The Challenges of the Digital Transformation of the German Industrial Model]. *La Documentation Française, Ed. Paris*, 176.
- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845–2856.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870–1875.
- Kolla, S., Minufekr, M., & Plapper, P. (2019). Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. *Procedia Cirp*, 81, 753–758.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford university Stanford, CA.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Kraus, S., Clauss, T., Breier, M., Gast, J., Zardini, A., & Tiberius, V. (2020). The economics of COVID-19: initial empirical evidence on how family firms in five European countries cope with the corona crisis. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*.
- Künzel, H. (2016). *Erfolgsfaktor Lean Management 2.0*. Springer.
- Kwak, Y. H., & Ibbs, C. W. (2002). Project management process maturity (PM) 2 model. *Journal of Management in Engineering*, 18(3), 150–155.
- Lafontaine, O. (1998). *Innovationen für Deutschland*. Steidl.
- Lai, N. Y. G., Wong, K. H., Halim, D., Lu, J., & Kang, H. S. (2019). Industry 4.0 enhanced lean manufacturing. *2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, 206–211. IEEE.
- Lampel, J., Shamsie, J., & Shapira, Z. (2009). Experiencing the improbable: Rare events and organizational learning. *Organization Science*, 20(5), 835–845.

- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M. S., & Kruschwitz, N. (2011). Big data, analytics and the path from insights to value. *MIT Sloan Management Review*, 52(2), 21–32.
- Lee, A. S., & Hubona, G. S. (2009). A scientific basis for rigor in information systems research. *Mis Quarterly*, 237–262.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
- Leeflang, P. S. H., Wieringa, J. E., Bijmolt, T. H. A., & Pauwels, K. H. (2017). Advanced Methods for Modeling Markets (AMMM). In *Advanced Methods for Modeling Markets* (pp. 3–27). Springer.
- Lehmann, E. L. (1993). The Fisher, Neyman-Pearson theories of testing hypotheses: one theory or two? *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1242–1249.
- Leite, H., Bateman, N., & Radnor, Z. (2016). Lean implementation and sustainability: a classification model of the main organizational barriers and enablers. *Production and Operations Management Society Conference*, 1–10.
- Leminen, S., Westerlund, M., Rajahonka, M., & Siuruainen, R. (2012). Towards IOT ecosystems and business models. In *Internet of things, smart spaces, and next generation networking* (pp. 15–26). Springer.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0—a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (Fedcsis)*, 1297–1302. IEEE.
- Leyh, C., Martin, S., & Schäffer, T. (2017). Industry 4.0 and Lean Production—A matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 989–993. IEEE.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... Schröter, M. (2015). IMPULS-industrie 4.0-readiness. *Impuls-Stiftung Des VDMA, Aachen-Köln*.
- Liker, J. (2001). *K., 2004, The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K. (1997). *Becoming lean: Inside stories of US manufacturers*. CRC Press.
- Liker, J. K. (2008). *Le modèle Toyota: 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise*. Pearson Education France.
- Lin, C., Wu, J.-C., & Yen, D. C. (2012). Exploring barriers to knowledge flow at different knowledge management maturity stages. *Information & Management*, 49(1), 10–23.
- Lin, D., Lee, C. K. M., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: an empirical

- investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management & Data Systems*.
- Lingard, H., Graham, P., & Smithers, G. (2000). Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: implications for company policy implementation. *Construction Management & Economics*, 18(4), 383–393.
- Lins, T., & Oliveira, R. A. R. (2017). Energy efficiency in industry 4.0 using SDN. *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 609–614. IEEE.
- LORENZON, I. A. (2008). *A Medição de Desempenho na Construção Enxuta: estudos de caso. 2008. 219f.* Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em ...
- Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2003). Learning to reduce rework in projects: Analysis of firm's organizational learning and quality practices. *Project Management Journal*, 34(3), 13–25.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
- Lugert, A., Batz, A., & Winkler, H. (2018). Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Lyonnet, B. (2010). *Amélioration de la performance industrielle: vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc*.
- Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. (2017). SLAE–CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. *Sensors*, 17(7), 1500.
- MacDuffie, J. P. (1995). Human resource bundles and manufacturing performance: Organizational logic and flexible production systems in the world auto industry. *Ilr Review*, 48(2), 197–221.
- Maier, A. M., Moultrie, J., & Clarkson, P. J. (2011). Assessing organizational capabilities: reviewing and guiding the development of maturity grids. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 59(1), 138–159.
- Maier, R. R., & Mies, R. (2019). Entwicklung eines Anlaufmodells für das Lean Start-up. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 114(7–8), 455–459.
- Malavasi, M., & Schenetti, G. (2017). *Lean manufacturing and Industry 4.0: An empirical analysis between sustaining and disruptive change*.
- Marhani, M. A., Jaapar, A., Bari, N. A. A., & Zawawi, M. (2013). Sustainability through lean construction approach: A literature review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 90–99.
- Martins, A. S. (2016). *Proposition d'une méthodologie qui intègre les aspects culturels dans la mise en œuvre du Lean Management: Etude comparative France-Brésil*. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM.
- Maskell, B. H. (2000). Lean accounting for lean manufacturers. *Manufacturing Engineering*, 125(6), 46.

- Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 72(1), 622–628.
- McSweeney, A. (2015). Review of data management maturity models. *SlideShare*. Retrieved March.
- Mehnen, J., He, H., Tedeschi, S., & Tapoglou, N. (2017). Practical security aspects of the internet of things. In *Cybersecurity for Industry 4.0* (pp. 225–242). Springer.
- Melles, B. (1997). What do we mean by lean production in construction. *Lean Construction*, 24–29.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673.
- Merigó, J. M., Blanco-Mesa, F., Gil-Lafuente, A. M., & Yager, R. R. (2017). Thirty years of the International Journal of Intelligent Systems: A bibliometric review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(5), 526–554.
- Merigó, J. M., Cancino, C. A., Coronado, F., & Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108(2), 559–593.
- Merigó, J. M., & Yang, J.-B. (2017). A bibliometric analysis of operations research and management science. *Omega*, 73, 37–48.
- Meski, O., Laroche, F., Belkadi, F., & Furet, B. (2019). La structuration des connaissances au service de l'industrie 4.0: Le cas du projet " SmartEmmma". *16ème Colloque National S-Mart/AIP-PRIMECA*.
- Metternich, J., Müller, M., Meudt, T., & Schaede, C. (2017). Lean 4.0—zwischen Widerspruch und Vision. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112(5), 346–348.
- Meudt, T., Metternich, J., & Abele, E. (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Annals*, 66(1), 413–416.
- Meyers, L. S., Gamst, G., & Guarino, A. J. (2006). Applied multivariate research: Design and interpretation Sage Publications. *Inc. Thousand Oaks, CA*.
- Miranda, J., Mäkitalo, N., Garcia-Alonso, J., Berrocal, J., Mikkonen, T., Canal, C., & Murillo, J. M. (2015). From the Internet of Things to the Internet of People. *IEEE Internet Computing*, 19(2), 40–47.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136.
- Moghaddam, M., Cadavid, M. N., Kenley, C. R., & Deshmukh, A. V. (2018). Reference architectures for smart manufacturing: a critical review. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 215–225.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia Cirp*, 17, 9–13.
- Moreno, A., Velez, G., Ardanza, A., Barandiaran, I., de Infante, Á. R., & Chopitea, R. (2017). Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(2), 365–373.

- Morgan, J., & Liker, J. K. (2006). *The Toyota product development system: integrating people, process, and technology*. Productivity press.
- Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software & Systems Modeling, 15*(1), 17–29.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *Procedia Engineering, 182*, 466–473.
- Muhuri, P. K., Shukla, A. K., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 78*, 218–235.
- Mysen, A. G. (2013). Smart products an introduction for design students. *Norwegian University of Science and Technology*.
- Nagapan, S., Rahman, I. A., Asmi, A., Memon, A. H., & Latif, I. (2012). Issues on construction waste: The need for sustainable waste management. *2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER)*, 325–330. IEEE.
- Nagy, J. (2019). Az Ipar 4.0 fogalma és kritikus kérdései–vállalati interjúk alapján. *Vezetéstudomány-Budapest Management Review, 50*(1), 14–26.
- Nave, D. (2002). How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. *Quality Progress, 35*(3), 73–80.
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals, 61*(2), 657–679.
- Netland, T. (2013). Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? *International Journal of Production Research, 51*(4), 1084–1097.
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., ... Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery, 78*.
- Niya, S. R., Schiller, E., Cepilov, I., & Stiller, B. (2020). BIIT: Standardization of Blockchain-based IIoT Systems in the I4 Era. *NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 1–9. IEEE.
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing, 13*, 1215–1222.
- Nyhuis, P., Schmidt, M., & Quirico, M. (n.d.). Mythos PPS 4.0. *Handbuch Industrie, 4*, 45–50.
- O’Neil, J. (2001). *Building better Global Economic BRICs*. Goldman sachs.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Olexa, R. (2002). Freudenberg-NOK’s lean journey. *Manufacturing Engineering, 128*(1), 34.
- Ooi, K.-B., Lee, V.-H., Tan, G. W.-H., Hew, T.-S., & Hew, J.-J. (2018). Cloud computing in manufacturing: The next industrial revolution in Malaysia? *Expert Systems with Applications, 93*, 376–394.
- Osmani, M., Glass, J., & Price, A. D. F. (2008). Architects’ perspectives on construction waste

- reduction by design. *Waste Management*, 28(7), 1147–1158.
- Paritala, P. K., Manchikatla, S., & Yarlagadda, P. K. D. V. (2017). Digital manufacturing-applications past, current, and future trends. *Procedia Engineering*, 174, 982–991.
- Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, 744–750.
- Parker, V. (2003). Burt's bees implementation of production processes. *Tribune Business News*, 1, 2–4.
- Parmar, P. S., & Desai, T. N. (2020). Evaluating Sustainable Lean Six Sigma enablers using fuzzy DEMATEL: A case of an Indian manufacturing organization. *Journal of Cleaner Production*, 121802.
- Paulk, M. C. (1995). How ISO 9001 compares with the CMM. *IEEE Software*, 12(1), 74–83.
- Paulk, M. C. (2009). A history of the capability maturity model for software. *ASQ Software Quality Professional*, 12(1), 5–19.
- Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, C. V. (1993). *Capability maturity model for software, version 1.1*. Software Engineering Institute. CMU/SEI-93-TR-24, DTIC Number ADA263403.
- Perales, D. P., Valero, F. A., & García, A. B. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. *Closing the Gap between Practice and Research in Industrial Engineering*, 343–350.
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance Lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810–822.
- Philips, E. (2002). Pros and cons of lean manufacturing. *Forming and Fabricating*, 9(10), 1–5.
- Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. *Sustainable Futures*, 2, 100023.
- Pokorni, B., Schlund, S., Findeisen, S., Tomm, A., Euper, D., Mehl, D., ... Palm, D. (2017). Produktionsassessment 4.0. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112(1–2), 20–24.
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (2011). *What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management*.
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., ... Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26–40.
- Powell, D., Romero, D., Gaiardelli, P., Cimini, C., & Cavalieri, S. (2018). Towards digital lean cyber-physical production systems: Industry 4.0 technologies as enablers of leaner production. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 353–362. Springer.
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0—a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21–26.

- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CiRp*, 54, 113–118.
- Prizinsky, D. (2001). Lincoln looks leaner in its manufacturing process. *Crains Cleveland Business*, 22(18), 1–8.
- R. Baldwin & B. Weder di Mauro, E. (2020). Introduction, in 'Economics in the Time of COVID-19.' *CEPR, London, chapter 1*, 1–30.
- Radnor, Z., Walley, P., Stephens, A., & Bucci, G. (2006). Evaluation of the lean approach to business management and its use in the public sector. *Scottish Executive Social Research*, 20, 1–6.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98–113.
- Richardson, G. L. (2010). *Project management theory and practice*. Crc Press.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, 6(2), 2158244016653987.
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thürer, M. (2018). Digital lean cyber-physical production systems: the emergence of digital lean manufacturing and the significance of digital waste. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 11–20. Springer.
- Rong, H., & Automation, R. (2014). *The-connected-enterprise-maturity model*.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644–1661.
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), 3963–3976.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Rowe, F. (2018). Being critical is good, but better with philosophy! From digital transformation and values to the future of IS research. *European Journal of Information Systems*, 27(3), 380–393.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54–89.
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0—twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, 9(6), 485–500.
- Sachs, J., Magnusson, P., & Simonsson, A. (2012, July 3). *Technique for controlling handovers within a multi-radio wireless communication system*. Google Patents.
- Saldivar, A. A. F., Goh, C., Li, Y., Chen, Y., & Yu, H. (2016). Identifying smart design attributes for Industry 4.0 customization using a clustering Genetic Algorithm. *2016 22nd International*

- Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 408–414. IEEE.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168–175.
- Samadara, P. D. (2020). Internal Service Quality and Employee Performance. *The International Journal of Social Sciences World (TIJOSSW)*, 2(01), 109–115.
- Samir, L. (2016). *Proposition d'une méthodologie qui intègre les aspects culturels dans la mise en œuvre du Lean Management: Etude comparative France-Brésil*. Paris, ENSAM.
- Samuel, D., Found, P., & Williams, S. J. (2015). How did the publication of the book *The Machine That Changed The World* change management thinking? Exploring 25 years of lean literature. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811–833.
- Sanders, A., Subramanian, K. R. K., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2017). Industry 4.0 and lean management—synergy or contradiction? *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 341–349. Springer.
- Sangasubana, N. (2011). How to conduct ethnographic research. *Qualitative Report*, 16(2), 567–573.
- Santos, J. R. A. (1999). Cronbach's alpha: A tool for assessing the reliability of scales. *Journal of Extension*, 37(2), 1–5.
- Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2018a). Lean production systems for industry 4.0. In *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 43–59). Springer.
- Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E., & Durmusoglu, M. B. (2018b). Lean transformation integrated with Industry 4.0 implementation methodology. In *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era* (pp. 97–107). Springer.
- Saunders, M. N. K., & Lewis, P. (2012). *Doing research in business & management: An essential guide to planning your project*. Pearson.
- Savall, H., & Zardet, V. (2004). *Recherche en Sciences de Gestion: Approche Qualimétrique, observer l'objet complexe*.
- Schlichter, J. (1999). Surveying project management capabilities. *PM NETWORK*, 13(1), 39–40.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. *International Conference on Business Information Systems*, 16–27. Springer.
- Schrauf, S. (2016). *Price Waterhouse Coopers: The Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment PWC*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 52(1), 161–166.
- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihn, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization

- based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 79, 409–414.
- Schwandt, T. A. (2001). Dictionary of qualitative inquiry. In *Dictionary of qualitative inquiry* (pp. xxxiv–281).
- Senaratne, S., & Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka. *Lean Construction Journal*.
- Sevilla, C. G. (2007). *Research Methods (Quezon City: Rex Printing Company)*. Diambil pada tanggal.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Krishnaiyer, K. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1–10.
- Shingo, S. (1996). *O sistema Toyota de produção*. Bookman Editora.
- Sikorski, J. J., Houghton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied Energy*, 195, 234–246.
- Simchi-Levi, D., Schmidt, W., & Wei, Y. (2014). From superstorms to factory fires. *Harvard Business Review*, 92(1), 24.
- Simoni, D. L., & Cecconello, I. (2020). Modelo de maturidade aplicado à células de soldagem robotizada: uma proposta baseada no modelo CMMI. *Scientia Cum Industria*, 8(2), 218–229.
- Sinkovics, R. R., Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2016). Testing measurement invariance of composites using partial least squares. *International Marketing Review*.
- Skoyles, E. R., & Skoyles, J. R. (1987). *Waste prevention on site*. Mitchell London.
- Slim, R., Rémy, H., & Amadou, C. (2018). Convergence and contradiction between lean and Industry 4.0 for inventive design of smart production systems. *International TRIZ Future Conference*, 141–153. Springer.
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 416–432.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0* (Vol. 150). Fraunhofer Verlag Stuttgart.
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard Business Review*, 77, 96–108.
- Staats, B. R., Brunner, D. J., & Upton, D. M. (2011). Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider. *Journal of Operations Management*, 29(5), 376–390.
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. sage.
- Staufen, A. G., & der TU Darmstadt, P. T. W. (25AD). Jahre Lean Management–Lean gestern, heute

und morgen. *Eine Studie Der Staufen AG Und Des Instituts PTW Der Technischen Universität Darmstadt.*

- Sterman, J. (2002). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.*
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp, 40*, 536–541.
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing, 5*(4), 344–358.
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review.*
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change, 132*, 40–45.
- Swefie, M. G. (2013). *Improving project performance using lean construction in Egypt: a proposed framework.*
- Szalavetz, A. (2019). Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries. *Technological Forecasting and Social Change, 145*, 384–395.
- Taggart, P., & Kienhöfer, F. (2013). The effectiveness of lean manufacturing audits in measuring operational performance improvements. *South African Journal of Industrial Engineering, 24*(2), 140–154.
- Tao, F., & Qi, Q. (2017). New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 49*(1), 81–91.
- Taylor, A. (2007). COVER STORIES-AMERICA'S MOST ADNIRED COMPANIES-America's Best Car Company-Fifty years ago GM was king and Toyota was a joke. Not anymore. Here's how Toyota was reborn in the US. *Fortune, 155*(5), 98.
- Team, C. P. (2010). *CMMI for Services, Version 1.3. Software Engineering Institute Carnegie Mellon. Retrieved October 9, 2012.*
- Teegavarapu, S., Summers, J. D., & Mocko, G. M. (2008). Case study method for design research: A justification. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 43284*, 495–503.
- Teo, M. M. M., & Loosemore, M. (2001). A theory of waste behaviour in the construction industry. *Construction Management and Economics, 19*(7), 741–751.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2017). Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges. In *Cybersecurity for Industry 4.0* (pp. 1–33). Springer.
- Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., & Lennartson, B. (2017). An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research, 55*(5), 1297–1311.
- Todd, P. (2000). Lean manufacturing: building the lean machine. *Journal of Advanced Manufacturing, 12*, 1–12.

- Tool, L. E. S.-A. (2001). Version 1.0. *Facilitator's Guide*.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2975–2987.
- Tortorella, G. L., Pradhan, N., Macias de Anda, E., Trevino Martinez, S., Sawhney, R., & Kumar, M. (2020). Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines. *International Journal of Production Research*, 1–14.
- Tortorella, G., Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I. C., Tlapa, D., & Thurer, M. (2020). Towards the proposition of a Lean Automation framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Tsang, E. W. K. (2014). Case studies and generalization in information systems research: A critical realist perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, *23*(2), 174–186.
- Tyagi, V., Jain, A., & Jain, P. K. (2020). An integrated approach for multi-period manufacturing planning of job-shops. *International Journal of Manufacturing Research*, *15*(2), 148–180.
- Underwood, S. (2016). *Blockchain beyond bitcoin*. ACM New York, NY, USA.
- Urban, W. (2015). Organizational culture assessment as a means of Lean Management maturity diagnosis. *Journal of Management and Finance*, *13*(4), 131–139.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.
- Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. (n.d.). *Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies*.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). VOSviewer: A computer program for bibliometric mapping. *Larsen B, Leta J. Proceedings of the 12th International Conference on Scientometrics and Informetrics*, 886–897.
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, *9*(2), 1–20.
- Velicer, W. F., & Fava, J. L. (1998). Affects of variable and subject sampling on factor pattern recovery. *Psychological Methods*, *3*(2), 231.
- Veloso, M., Biswas, J., Coltin, B., Rosenthal, S., Kollar, T., Mericli, C., ... Ventura, R. (2012). Cobots: Collaborative robots servicing multi-floor buildings. *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 5446–5447. IEEE.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*, 157–178.
- Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: the Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, *116*, 150–156.
- Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., & Ten Hompel, M. (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4. Allgemeine Grundlagen*, 2.
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems.

- Procedia Cirp*, 63, 125–131.
- Walsham, G. (2006). Doing interpretive research. *European Journal of Information Systems*, 15(3), 320–330.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805.
- Wang, W., & Lu, Z. (2013). Cyber security in the smart grid: Survey and challenges. *Computer Networks*, 57(5), 1344–1371.
- Weber, R. H., & Weber, R. (2010). General Approaches for a Legal Framework. In *Internet of Things* (pp. 23–40). Springer.
- WHO. (2020). Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report–1. *Nover Coronavirus: World Health Organisation*.
- Wieringa, R. (2009). Design science as nested problem solving. *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology*, 1–12.
- Witte, E. (1981). Die Unternehmenskrise—Anfang vom Ende oder Neubeginn. *Unternehmenskrisen—Ursachen, Früherkennung, Bewältigung, Stuttgart*, 7–24.
- Womack, J., & Jones, D. T. (1990). Roos. *The Machine That Changed the World*, Rawson Associates, New York.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard Business Review*, 74(5), 140.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking (2003 Editi.)*. London: Simon & Schuster UK Ltd.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.
- Xu, G., Li, M., Chen, C.-H., & Wei, Y. (2018). Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. *Automation in Construction*, 93, 123–134.
- Xu, Y., Chen, G., & Zheng, J. (2016). An integrated solution—KAGFM for mass customization in customer-oriented product design under cloud manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(1–4), 85–101.
- Yew, A. W. W., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2016). Towards a griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 39, 43–55.
- Yin, R. K. (1994). Case study research design and methods applied. *Social Research Methods Series*, 5.
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, 19(3),

321–332.

- Yue, C. A., Men, L. R., & Ferguson, M. A. (2019). Bridging transformational leadership, transparent communication, and employee openness to change: The mediating role of trust. *Public Relations Review*, 45(3), 101779.
- Zainal, Z. (2007). Case study as a research method. *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1).
- Zanero, S. (2017). Cyber-physical systems. *Computer*, 50(4), 14–16.
- Zhang, J., Ding, G., Zou, Y., Qin, S., & Fu, J. (2019). Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(4), 1809–1830.
- Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarok, K., ... Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137–150.
- Zikopoulos, P., & Eaton, C. (2011). *Understanding big data: Analytics for enterprise class hadoop and streaming data*. McGraw-Hill Osborne Media.
- Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129–138.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND  
SCIENTIFIC RESEARCH



University of biskra  
Faculty of Economics, Trade and Management Sciences  
Review of Economic and Managerial Research

جامعة محمد خيضر بسكرة،  
كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير  
مجلة أبحاث اقتصادية وإدارية

REF: 49./rem/2020

الرقم: 49، المجلد 1، 2020

## شهادة قبول النشر

بناء على المقال المقدم من طرف الأستاذ(ة): العافري نجوى، و الأستاذ(ة): ساسي بولماغ سعاد، مخبر: عمارة، مدينة، مهين و تكوين، المؤسسة: جامعة قسنطينة 03 /الجزائر

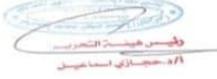
و الموسوم بـ: *An analytical study of lean management implementation on construction companies in Algeria*

و بعد عرضه على الهيئة العلمية، نعلمكم ان المقال المذكور أعلاه، قد قبل للنشر في مجلة أبحاث اقتصادية وإدارية، الصادرة عن جامعة محمد خيضر بسكرة الجزائر

تاريخ الإرسال: 2019/12/05  
تاريخ القبول: 2020/02/25

سلمت له هذه الشهادة لاستعمالها في حدود ما يسمح به القانون

بسكرة ( الجزائر) في: 2020/03/05  
رئيس التحرير



E-mail : [ecomangement.journal@univ-biskra.dz](mailto:ecomangement.journal@univ-biskra.dz)

ص.ب 145 بسكرة - 033.54.33.00

يمكن الاطلاع على نسخة من المقال على الرابط التالي: <https://www.asip.cerist.dz/en/chiefEditor/listAcceptedArticlePublication/101>

# ANNEXE B : Questionnaire n°:01 d'état des lieux du Lean en ALGERIE.

18/02/2021

lean en algerie

## lean en algerie

Ce questionnaire est élaboré dans le cadre de la recherche doctorale sur l'application de la méthode lean management dans le secteur de construction en Algérie :c'est une méthode de management qui vise l'amélioration des performances par le développement de tous les employés. La méthode permet de rechercher les conditions idéales de fonctionnement en faisant travailler ensemble personnel, équipements et sites de manière à ajouter de la valeur avec le moins de gaspillage possible du coût , délai et qualité, dans le but d'atteindre la satisfaction complète des clients de l'entreprise et le succès de chacun des employés (ce qui se traduit en motivation et engagement). Pour ce faire, nous avons commencé par une section d'analyse des facteurs qui affectent la performance du projet en matière coût, qualité et délai et aussi pour voir l'avis des parties prenantes vis a vis de l'utilisation de certaines techniques liées au Lean management sur la performance des projets.

### 1. Question sans titre

*Plusieurs réponses possibles.*

Option n° 1

### 2. Question sans titre

*Plusieurs réponses possibles.*

Option n° 1

## 1.informations générales

### 3. 1.1 expérience professionnelle :

*Plusieurs réponses possibles.*

< 5ans

5-10 ans

10-15 ans

15-20 ans

> 20 ans

## 4. 1.2 l'enveloppe financière du projet dans l'entreprise

*Une seule réponse possible.*

- < 1 millions dza
- 1-5 millions dza
- 5-9 millions DZA
- > 10 millions DZA
- Autre : \_\_\_\_\_

## 5. 1.3 la profession de l'enquêté

*Une seule réponse possible.*

- manager de projet (chef / directeur de projet )
- conducteur des travaux
- architecte
- ingénieur

2. l'impact des facteurs influant sur la performance :(cout, qualité et délai ) des projets de construction en Algerie

## 6. 2.1 changement de contenu du projet par le maître d'ouvrage

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- delai

## 7. 2.2 absence de supervision du site de projet par le responsable

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 8. 2.3 travail refait plusieurs fois a cause des erreurs dans la phase de construction

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 9. 2.4 Difficultés de financement du projet

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 10. 2.5 Manque de communication et de coordination entre l'entrepreneur, architecte et maître de l'ouvrage

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- delai

## 11. 2.6 Absence de Planification et ordonnancement du projet

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 12. 2.7 Mauvaise qualification du personnel technique de l'entrepreneur

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 13. 2.8 erreurs au niveau de l'étude du projet

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

Autre :  \_\_\_\_\_

## 14. 2.9 non utilisation des logiciels et outils informatiques avancés dans l'étude et la réalisation

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

Autre :  \_\_\_\_\_

## 15. 2.10 détails insuffisants dans la phase conception

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 16. 2.11 Complexité de la conception du projet

*Plusieurs réponses possibles.*

- cout
- qualité
- délai

## 17. 2.12 absence de la phase pré-opérationnelle

Plusieurs réponses possibles.

- cout  
 qualité  
 délai

## 18. 2.13 Main-d'œuvre non qualifiée

Plusieurs réponses possibles.

- cout  
 qualité  
 délai

3.l'application des techniques du Lean management dans le secteur de construction

## 3.1 la reduction du gaspillage dans la réalisation du projet

## 19. 3.1.1 Éliminer les activités sans valeurs ajoutées "est une action entreprise qui n'augmente pas la valeur de ce qui est livré au client"

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

## 20. 3.1.2 éliminer la quantité du gaspillage matériel sur le site

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

## 21. 3.1.3 sensibiliser les employés a l'élimination du gaspillage

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 22. 3.1.4 Utilisation du stockage au point d'utilisation pour réduire les mouvements inutiles(stocker ce dont vous avez besoin)

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 23. 3.1.5 capitalisation des connaissances et des compétences de chaque employé ( personnes sous utilisées)

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 24. 3.1.6 estimer la baisse de la productivité dans le projet

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 3.2 réduction de la variabilité (modifications et changements)

25. 3.2.1 standardiser la gestion des projets par l'application de l'assurance et le contrôle qualité

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

26. 3.2.2 partager les informations du cycle de vie du projet avec les employés

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

27. 3.2.3 Faire l'étude de faisabilité et d'opportunité du projet dans la phase prépositionnelle

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

### 3.3 Augmenter la transparence

28. 3.3.1 visual management : la performance par l'implication des équipes

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

## 29. 3.3.2 nettoyer les déchets du site de travail

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 30. 3.3.3 Clarifier les méthodes de travail au employés

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
tres désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

## 3.4 Gestion de la variabilité des flux

## 31. 3.5 Préciser exactement la qualité du client final.

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

32. 3.6 Identifier clairement le processus qui permet au client d'obtenir ce qu'il veut (la chaîne de valeur) et d'éliminer toutes les valeurs sans valeur ajoutée en Améliorant des parties individuelles du processus et analyser leur impact sur l'ensemble du processus qui peut améliorer le processus en entier. Un outil, le VSM, pour Value Stream Mapping, permet de fournir une vue d'ensemble des activités, des entrées, des sorties et des connexions, afin de pouvoir détecter des gaspillages et planifier leur élimination.

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
Trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

33. 3.7 Il est nécessaire de s'assurer que toutes les étapes de création de valeur se déroulent en douceur sans interruption, retard ou obstacle. Cela peut nécessiter de briser la pensée « cloisonnée », interagir avec tous les métiers de l'entreprise, au-delà des intérêts personnels et en gardant l'intérêt du client comme ligne de mire.

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

34. 3.8 C'est une technique qui consiste à considérer que seule l'expression du besoin client déclenche la production du produit ou service "costumer pull "

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
trés désaccord	<input type="radio"/>	trés d'accord				

35. 3.9 examiner et améliorer les processus en continu, et identifier les améliorations chaque jour, chaque année, encore et encore.

*Une seule réponse possible.*

	1	2	3	4	5	
très désaccord	<input type="radio"/>	très d'accord				

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

## ANNEXE C : Questionnaire 2 : l'adaptabilité des entreprises pendant le COVID-19 en utilisant le Lean 4.0 (98 ETP).

18/02/2021

L'évaluation de l'adaptabilité des organisations par rapport au COVID-19

### L'évaluation de l'adaptabilité des organisations par rapport au COVID -19

Dans cette situation exceptionnelle de pandémie liée au COVID-19, le fonctionnement des entreprises a été affecté à différents degrés pendant le confinement : fermetures, limitations d'activités, réorganisations... La reprise progressive d'activité vers une situation stabilisée pose de nombreuses questions et demande une préparation facilitant ses conditions de succès, Cette enquête couvre cinq dimensions organisationnelles , toutes pertinentes pour l'évaluation de l'adaptabilité des entreprises et de la main d'œuvre, par rapport au COVID-19. les cinq sections du questionnaire sont :

- leadership
- Technologies
- production et opération
- culture
- employés

**\*Obligatoire**

#### Informations générales

##### 1. Les années d'expérience de l'organisation \*

*Plusieurs réponses possibles.*

- < 5 ans
- 5-10 ans
- 10-15 ans
- 15-20 ans
- > 20 ans

Autre :  \_\_\_\_\_

##### 2. Pays de l'organisation

*Une seule réponse possible.*

- FRANCE
- ALGERIE
- AUTRE

## 3. La profession de l'enquêteur \*

*Une seule réponse possible.*

- manager
- conducteur des travaux
- architecte
- ingénieur
- it management
- technicien
- stagiaire
- Autre : \_\_\_\_\_

## 4. L'échelle de l'organisation \*

*Une seule réponse possible.*

- petite
- moyenne
- grande
- Autre : \_\_\_\_\_

5. - Avez vous établi et suivi les étapes suivantes du plan de continuité d'activité dans votre organisation? \*

Plusieurs réponses possibles.

<p>Faible impact, la performance financière devrait être identifier les activités qui sont nécessaires pour assurer les activités à la vie collective de la nation supérieure ou égale au budget</p>	<p>identifier parmi les salariés ,les facteurs clés et leur responsabilité</p>	<p>recenser les fonctions clés et les effectifs minimums pour maintenir des activités essentielles de votre vie</p>	<p>identifier les sous traitants et les dépendances externes</p>	<p>identifier les équipements de protection (lieu de stockage , mode de reapprovisionnement...etc)</p>	<p>cc et</p>
<p>reponse</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Parmi les défis suivants en matière de gaspillage, quels sont ceux auxquels votre entreprise a été confrontée ? Sélectionnez toutes les réponses qui s'appliquent.

*Plusieurs réponses possibles.*

- surproduction:elle entraîne la fabrication de grands lots de produits et de services et entraîne des coûts par exemple de l'entretien des bâtiments, l'excès de main-d'œuvre, l'excès de machines, de pièces et de matériaux, etc...
- traitements inutiles :gaspillage lié à un processus non maîtrisé, c'est-à-dire l'exécution de tâches inutiles qui ne donnent pas de valeur ajoutée aux produits ou services.
- L'attente :par les processus et les personnes, apparaît comme des machines inutilisées et des travailleurs désœuvrés qui se tiennent prêts à effectuer leur travail.
- Transport : Les transports sont, pour la plupart, une forme de gaspillage. Un excès de marche ou de transport et de manutention dû à une mauvaise disposition entraîne à la fois un retard dans l'exécution des travaux et des dégâts matériels. Le transport entre les installations est également une forme de gaspillage
- Surstockage ou stock inutile :ça correspond à la conservation des matières premières, des pièces, des encours et des produits finis inutiles. Surstockage est directement lié à deux autres formes de déchets, la surproduction et l'attente.
- Mouvement inutile : c'est le Mouvement inutile de personnes ou le mouvement qui n'apporte pas de valeur ajoutée.
- Défaut :tout aspect de produit qui ne répond pas au besoin et aux exigences du clients .

### 1.leadership

7. 1.1 Parmi les défis suivants en matière de travail à distance, quels sont ceux auxquels votre entreprise a été confrontée ? Sélectionnez toutes les réponses qui s'appliquent. \*

*Plusieurs réponses possibles.*

	Les processus de travail et les mesures ne sont pas favorables aux personnes travaillant selon des horaires flexibles	Les employés connaissent des problèmes de santé mentale en raison de l'isolement social et de l'anxiété économique	Les équipes ont des difficultés à communiquer et à collaborer virtuellement	Incapacité à traduire les forces culturelles dans l'environnement virtuel	Aucune de ces réponses
Réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. 1.2 Avez vous programmé des formations spécifiques sur les risques liés au COVID-19 et les nouveaux risques générés par la nouvelle organisation pour être donnée aux personnes en charge des questions de santé et sécurité au travail de l'entreprise? \*

Plusieurs réponses possibles.

	oui	non	aucune réponse
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 2. technologies

9. 2.1 Parmi les outils de Lean suivants, lequel ou les quels vous trouvez qu'ils puissent vous aider contre les 07 muda pendant la crise du Covid-19 ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	5S	Juste à temp	le management visuel	TPM :maintenance productive totale	Kanban	SMED :Réduction des temps de réglages	poka yoke	RÉDI CONF re
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. 2.2 Parmi les outils de l'industrie 4.0, lequel ou les quels vous trouvez qu'ils puissent vous aider contre les 7 muda pendant la crise du COVID 19 ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	Internet des objets "IOT"	L'impression 3D ou fabrication additive	Analyse des données "Data analysis"	Visualisation par simulation	les robots adaptatifs	calcul des taux de rendement	l'analyse des flux (niveaux des stocks)
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. 2.3 Parmi les énoncés suivants, lequel résume le mieux vos attentes quant à la conséquence que l'automatisation ou l'intelligence artificielle (IA) aura sur le nombre de main-d'œuvre, notamment en raison de l'impact de COVID-19 ?

Plusieurs réponses possibles.

	L'automatisation des emplois et des tâches sera accélérée dans les secteurs existants de l'entreprise et réduira la taille des effectifs	L'automatisation des emplois et des tâches restera similaire à l'environnement d'avant la COVID-19, mais nous donnerons la priorité aux technologies qui permettent de réduire les effectifs	Les possibilités d'automatisation des emplois et des tâches ne sont explorées que dans de nouveaux domaines commerciaux.	COVID-19 n'aura pas d'impact spécifique sur nos activités d'automatisation ou d'IA	Sans objet nous ne prévoyons pas de mettre en œuvre l'automatisation des tâches des emplois dans notre entreprise
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3.Produits et opérations

12. 3.1 Quel est l'impact estimé de COVID-19 sur la productivité de la main-d'œuvre de votre entreprise depuis le début de l'année ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	Impact négatif, la productivité est inférieure à la normale	Impact modéré	Impact positif, la productivité est plus élevée que la normale
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 13. 3.2 Avez vous des préventions pour la réception du produit /service ? \*

*Plusieurs réponses possibles.*

	identifier une zone claire de reception, chargement et dechargement de des produits	envoi au fournisseur des consignes sanitaires à respecter avant la livraison	le salarié garde une distance de 2 metres entre lui l'autre personne	il ne doit pas y avoir de contact physique . la signature de la livraison s'effectue avec deux stylos
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 14. 3.3 Est ce que les délais d'approvisionnement sont augmentés en raison de l'afflux de demandes ou de pénurie de certains produits ; \*

*Plusieurs réponses possibles.*

	oui	non
reponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 15. 3.4 Ya t'il une rupture provisoire de stock sur certaines références de produits? \*

*Plusieurs réponses possibles.*

	oui	non
reponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 16. 3.5 Laquelle des priorités suivantes en matière de main-d'œuvre votre entreprise va-t-elle revoir au cours des trois à six prochains mois ? Sélectionnez toutes celles qui s'appliquent.

*Plusieurs réponses possibles.*

	Modèles d'apprentissage alternatifs (RV/ à la demande, etc.)	Mise en œuvre de l'automatisation/de l'intelligence artificielle	Travail flexible	Recrutement pour répondre à une demande accrue de produits ou de services	Travail à distance	Restructuration ou réorganisation
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. 3.6 Est ce que vous faites la préconisation de nettoyage des éléments suivants dans l'entreprise ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	materiel individuel	parties communes	materiel collectif	poubelle
réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 4.Culture

18. 4.1 Comment l'infrastructure de votre entreprise a-t-elle géré le changement de culture et de lieu de travail en faveur du travail virtuel ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	Faible impact, peu ou pas de problèmes liés à la transition vers le travail virtuel	Impact modéré	Des questions importantes et à fort impact qui passent au travail virtuel
reponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. 4.2 Votre entreprise a-t-elle rencontrer un ou plusieurs types des 7 muda (gaspillages) ? choisir les bonnes réponses \*

Plusieurs réponses possibles.

	Production excessives	Attentes	Transports et manutentions inutiles	Usinages inutiles et incorrects	Stocks	Mouvements inutiles	Produits défectueux
réponses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 5.Employés

20. 5.1 Est ce qu'il ya un contact entre les employées , accueil de clients ? \*

Plusieurs réponses possibles.

	oui	non
Réponse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



21. 5.2 Parmi les défis suivants, quels sont ceux que votre entreprise a rencontré lorsqu'elle a essayé de soutenir les employés essentiels sur site ? Sélectionnez toutes les réponses qui s'appliquent. \*

Plusieurs réponses possibles.

	Impossible de trouver des masques à acheter	Impossible de trouver des thermomètres à utiliser	Difficulté à maintenir la distance sociale sur le lieu de travail	Impossibilité de tester les employés pour le virus/les anticorps en raison du manque de kits de test	Employés ne venant pas au travail par crainte de tomber malade	Aucune difficulté rencontrée à ce jour
Réponses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. 5.3 Parmi les mesures suivantes, laquelle votre entreprise prend-elle pour protéger la santé de ses employés sur site ? Sélectionnez toutes celles qui s'appliquent. \*

Plusieurs réponses possibles.

	Amélioration du nettoyage et de la désinfection du lieu de travail	Fournir des masques	Fournir des équipements de protection individuelle, y compris des gants et des blouses	Modifier les équipes et les groupes de travail pour améliorer la distance sociale	Mettre en œuvre d'autres mesures pour améliorer l'éloignement social	Mise en œuvre de changements physiques ou structurels sur le lieu de travail (par exemple, protection contre les éternuements, barrières)
reponses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

## ANNEXE D: le résultat de la corrélation entre le LM et l'I4.0 pendant le COVID-19

Tableau : Correlation between Lean tools and Industry 4.0

		lot	3D printing	simulation	adaptatif robotics	pattern	data analysis	M2M	Cloud	big data	sensors	CPS	AR and VR	environmental excellence	Human valorization
5S	Coefficient de corrélation	,211 <sup>*</sup>	,312 <sup>**</sup>	0,162	,218 <sup>*</sup>	0,198	,206 <sup>*</sup>	-0,045	0,178	0,035	0,144	0,075	-0,075	0,189	0,188
	Sig. (bilatéral)	0,037	0,002	0,113	0,032	0,050	0,043	0,659	0,080	0,730	0,156	0,466	0,465	0,063	0,064
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
JUST IN TIME	Coefficient de corrélation	,228 <sup>*</sup>	-0,035	0,025	0,025	-0,035	,226 <sup>*</sup>	0,076	0,181	-0,009	0,090	,275 <sup>**</sup>	0,180	0,064	0,091
	Sig. (bilatéral)	0,024	0,734	0,811	0,811	0,734	0,026	0,456	0,074	0,927	0,376	0,006	0,076	0,530	0,374
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
Visual management	Coefficient de corrélation	0,129	0,164	0,120	0,177	,222 <sup>†</sup>	0,172	0,132	0,141	-0,037	0,115	0,161	0,058	0,143	,219 <sup>†</sup>
	Sig. (bilatéral)	0,204	0,107	0,241	0,082	0,028	0,093	0,194	0,165	0,718	0,260	0,114	0,568	0,159	0,030
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
TPM	Coefficient de corrélation	0,110	-0,075	0,048	0,117	,207 <sup>†</sup>	,224 <sup>†</sup>	0,184	0,057	0,190	-0,073	,311 <sup>**</sup>	0,044	0,169	0,106
	Sig. (bilatéral)	0,280	0,465	0,640	0,255	0,041	0,027	0,070	0,577	0,061	0,474	0,002	0,667	0,096	0,301
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
KANBAN	Coefficient de corrélation	-0,021	0,030	0,014	0,160	0,179	0,038	-0,051	,231 <sup>†</sup>	0,041	-0,066	0,060	0,089	0,004	0,013
	Sig. (bilatéral)	0,839	0,771	0,889	0,116	0,077	0,709	0,617	0,022	0,689	0,518	0,556	0,383	0,972	0,900
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
SMED	Coefficient de corrélation	0,121	0,042	0,102	0,177	,349 <sup>**</sup>	0,119	,210 <sup>†</sup>	0,082	0,146	-0,064	0,171	0,106	0,089	0,148
	Sig. (bilatéral)	0,233	0,680	0,321	0,083	0,000	0,245	0,038	0,423	0,151	0,533	0,093	0,300	0,382	0,145
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
POKA YOKE	Coefficient de corrélation	0,151	,211 <sup>†</sup>	0,038	0,115	,290 <sup>**</sup>	0,071	0,042	0,088	0,060	0,139	0,183	-0,156	,328 <sup>**</sup>	0,115
	Sig. (bilatéral)	0,139	0,038	0,710	0,263	0,004	0,489	0,682	0,390	0,561	0,176	0,073	0,128	0,001	0,264
	N	97	97	96	96	97	96	97	97	97	97	97	97	97	97
Setup Reduction	Coefficient de corrélation	0,077	0,030	0,148	0,022	0,159	0,076	0,161	-0,041	,247 <sup>†</sup>	-0,033	-0,069	,218 <sup>†</sup>	0,139	0,190
	Sig. (bilatéral)	0,451	0,768	0,149	0,830	0,118	0,460	0,113	0,687	0,014	0,744	0,499	0,031	0,173	0,060
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
Jido ka	Coefficient de corrélation	0,168	-0,076	-0,079	-0,079	-0,076	0,031	0,019	-0,032	-0,057	-0,026	,380 <sup>**</sup>	0,052	0,075	,219 <sup>†</sup>

lot		3D printing	simulation	adaptive robotics	pattern	data analysis	M2M	Cloud	big data	sensors	CPS	AR and VR	environmental excellence	Human valorization	
Quality control	Sig. (bilatéral)	0,099	0,460	0,439	0,439	0,460	0,764	0,855	0,758	0,580	0,802	0,000	0,614	0,463	0,031
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,036	0,091	0,074	0,145	0,164	,204*	0,167	0,069	0,123	-0,068	,244*	0,009	0,061	0,045
supplier development	Sig. (bilatéral)	0,727	0,372	0,473	0,156	0,106	0,045	0,101	0,502	0,228	0,503	0,016	0,929	0,550	0,660
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,043	0,044	,215*	0,032	0,138	0,110	0,085	-0,060	0,126	0,190	0,023	,235*	0,024	0,139
Andon	Sig. (bilatéral)	0,677	0,667	0,035	0,756	0,177	0,282	0,404	0,558	0,215	0,061	0,825	0,020	0,817	0,172
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,121	-0,088	0,187	-0,092	0,056	-0,004	-0,016	-0,037	0,113	-0,030	0,127	0,144	0,042	0,043
cellular Manufacturing	Sig. (bilatéral)	0,236	0,391	0,066	0,369	0,587	0,972	0,873	0,720	0,268	0,771	0,213	0,158	0,684	0,674
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,084	0,139	-0,064	0,131	-0,061	-0,085	-0,091	-0,026	-0,046	-0,021	,221*	-0,075	0,124	0,178
WIP technique	Sig. (bilatéral)	0,408	0,172	0,530	0,201	0,548	0,405	0,371	0,802	0,654	0,839	0,029	0,461	0,222	0,080
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,024	0,159	0,145	0,049	-0,135	0,055	0,112	-0,057	0,144	,204*	0,034	0,006	-0,052	,247*
Heijunka	Sig. (bilatéral)	0,815	0,117	0,156	0,631	0,184	0,591	0,273	0,580	0,158	0,044	0,738	0,952	0,609	0,014
	N	98	98	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	98	98
	Coefficient de corrélation	-0,052	0,010	0,001	0,117	0,128	0,142	0,027	-0,045	-0,081	-0,037	,235*	0,074	-0,005	,227*
		**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).													
		*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).													

# ANNEXE E: Questionnaire 3 de l'adaptabilité des entreprises par rapport au Lean 4.0 dans le cas normal (76 ETP) dans les 2 langues français et traduit aussi en Anglais.

18/02/2021

Niveau de maturité de l'application du Lean 4.0 dans les organisations

## Niveau de maturité de l'application du Lean 4.0 dans les organisations

Lean 4.0 est la conjonction du Lean Management avec Industry 4.0 en supposant que les deux se complètent et se renforcent mutuellement

Afin d'accroître la vision des entreprises pour les applications lean 4.0, nous avons développé un modèle qui aide les entreprises à appliquer facilement les technologies 4.0 et à améliorer les performances des systèmes grâce au lean.

En attendant, après votre réponse à ce questionnaire, nous pouvons vous envoyer votre classement dans votre pays par rapport à la maturité Lean 4.0, ainsi que le modèle théorique de maturité Lean 4.0 pour développer les 9 dimensions organisationnelles au sein de votre entreprise que nous avons développées.

Niveau de maturité actuel :

niveau0 : INITIAL (absence) : La vision Lean 4.0 spécifique à l'entreprise n'existe pas

niveau 1 : Géré : ( Existence ) La feuille de route pour la vision lean 4.0 est disponible. C'est un niveau de maturité où l'entreprise a quelques initiatives pilotes.

niveau 2 : Défini : La survie est un niveau de maturité où les produits de l'entreprise sont capables d'appliquer le Lean 4.0

niveau3 : Transformation :( Maturité) est un niveau de maturité où les produits de l'entreprise sont prêts à appliquer et à passer au Lean 4.0

niveau4 : Des services intelligents et basés sur les données sont fournis à un niveau élevé pour mettre en œuvre le LEAN 4.0

niveau5 : Modèle d'entreprise détaillé : L'ensemble du modèle commercial est transformé vers le lean 4.0 .

Cette présentation prendra 10 minutes car elle contient 63 questions.

Je suis elafri nedjwa doctorante dans le domaine de la gestion de projet à l'Université de Strasbourg FRANCE, laboratoire ICUBE .

Vous trouverez ci-joint mon questionnaire.

Je vous prie d'agréer, Monsieur l'expression de mes sentiments distingués.

### informations générales

#### 1. les années d'expériences de l'organisation:

*Plusieurs réponses possibles.*

- < 5 ans
- 5-10 ans
- 10-15 ans
- 15-20 ans
- > 20 ans

Autre :  \_\_\_\_\_

### Questionnaire 3 :Maturity level of Lean 4.0 application in organizations

This study aimed to develop of an Lean Industry 4.0 maturity model and an assessment survey to provide companies a tool to help them understand their current state regarding to Industry 4.0. Different application areas were proposed for Industry 4.0 such as strategy , technology and culture in order to differentiate the model and increase companies’ perspective for Lean Industry 4.0 applications.The major advantage of this model is their methodological approach to analyze data using the importance of each aspect rated by experts as a weighing factor. Future studies will aim at diversifyingLean Industry 4.0 maturity model to enhance the industry scope with weighted associated fields for each industry and create activity plans according to construction companies’ current maturity level.

#### 1.Strategy :

1.1to what level do you use SMED for reducing change in your companies ?

Level of maturity :

Level 0 : *Initial* : Company-specific Lean Industry 4.0 vision does not exist

Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.

Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.

Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.

Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.

*Level 4 : Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.2to what level do you integrate Continuous improvements (kaizen) in your company ?

Level of maturity :

Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist

Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.

Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.

Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.

Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.

*Level 4 : Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.3 to what level do you implement Production levelling (heijunka) tool to your company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.4 to what level do you have simulation model in your company to drive Industry 4.0 ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.5 to what level are you already investing in Lean and insustry 4.0 technology ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.6 to what level do you have agility vision to a customer's request whilstmaintaining the same service quality ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.7 to what level does your company have partnership for industry 4.0 projects with other organisations ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

1.8 to what level do you use roadmap for the planning of industry 4.0 ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**2.LEADERSHIP :**

2.1 to what level do you measure performance of your company using Key performance indicators (KPI) ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.2 to what level do you implement strategic planning and Lean tools ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.3 to what level do Employees know clearly the limit of their autonomy to take decisions ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.4 to what level do Employees have autonomy to stop work cycles if these present problems ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.5 to what level do Employees have autonomy to stop work cycles if these present problems ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.6 to what level do you use big data technology ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

2.7 to what level do you have central coordination for I40 ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**3.CUSTOMERS :**

3.1 to what level do you apply Value stream mapping in your company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

3.2 to what level do you apply Value stream mapping in your company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

3.3 to what level do your existing service comply with innovative digital ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**4.products :**

4.1 to what level do you analyse company's workers hours per unit produced ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

4.2 to what level do you analyse non value added per unit produced ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

4.3 to what level do you analyse ecart between waiting time and total time ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

4.4 to what level do you analyse ecart between waiting time and total time ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

4.5 to what level do you integrate product to other systems ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**5. operations :**

5.1 to what level do you integrate standardization into your system

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

5.2 to what level do you use the horizontal and vertical of all the socio-technical systems in the company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

5.3 to what level do you have Interdisciplinary, and interdepartmental collaboration in your company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**6. CULTURE :**

6.1 to what level is there specific characteristics hinders the transformation towards Lean and I4.0 in the company ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

**7.people :**

7.1 to what level are you training Lean tools like 5S, quality and standardisation ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.
  
- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

7.2 to what level do you measure ICT competences of employees ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

7.3 to what level do you suggest the majority of the workforce is familiar with the Industry 4.0 innovations ?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

7.4 to what level does The organisation operate using ‘zero paper’ to control?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

8.GOUVERNANCE :

8.1 to what level does The organisation has Multiple suppliers?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

8.2 to what level does The organisation apply Protection of intellectual property?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

9. TECHNOLOGY :

9.1 to what level do you use Enterprise Resource Planning (ERP), Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

9.2 to what level do you use mobile devices?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

9.3 to what level do you use machine-to-machine communication?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

9.4 to what level do you use cloud technology?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

9.5 to what level do you use Sensors for data collection?

- Level 0 : *Initial* : Company-specific lean Industry 4.0 vision does not exist
- Level 1 : *Managed* : Roadmap for Industry 4.0 vision is available.
- Level 2 : *Defined* : Customer segments, value proposition and key resources of SME are defined.
- Level 3 : *Transform* : Strategy divided into specific tasks.
- Level4 : *Transform*: Strategy divided into specific tasks.
- Level 4 : *Detailed Business Model*: The entire business model is transformed towards Industry 4.0.

## ANNEXE F : Résultats du questionnaire 3

### RII :

#### RII stratégie

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
1.6	76	1,00	6,00	2,4605	1,46461
1.10	76	1,00	6,00	2,3553	1,35355
1.11	76	1,00	6,00	2,1447	1,29310
1.9	76	1,00	6,00	2,1447	1,18551
1.2	75	1,00	6,00	2,0933	1,29629
1.7	76	,00	6,00	2,0921	1,53343
1.3	76	1,00	6,00	2,0658	1,34992
1.4	75	1,00	5,00	1,9200	1,17128
1.5	76	1,00	6,00	1,9079	1,27726
1.1	76	1,00	6,00	1,8816	1,21070
1.8	76	1,00	6,00	1,7237	1,09055
N valide (liste)	75				

#### RII de la dimension Leadership

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
2.1	76	1,00	6,00	2,5132	1,50105
2.3	76	1,00	6,00	2,4737	1,33140
2.2	76	1,00	6,00	2,4474	1,37011
2.6	76	1,00	6,00	2,3816	1,59973
2.7	76	1,00	6,00	2,3026	1,36645
2.4	76	1,00	6,00	2,2895	1,30451
2.5	76	1,00	5,00	2,0526	1,13013
N valide (liste)	76				

#### RII Client

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
3.3	76	1,00	6,00	2,4211	1,20292
3.2	76	1,00	6,00	2,3158	1,32876
3.4	75	1,00	6,00	2,2267	1,27950

3.1	76	1,00	6,00	2,2105	1,45433
N valide (liste)	75				

### RII Production

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
4.1	76	1	6	2,59	1,358
4.5	76	1	6	2,36	1,283
4.2	76	1	6	2,28	1,429
4.6	76	1,00	6,00	2,1842	1,17429
4.3	76	1	6	2,18	1,186
4.4	76	1	6	2,17	1,237
N valide (liste)	76				

### RII Opérations

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
5.1	76	1	6	2,46	1,351
5.5	76	1	6	2,37	1,242
5.4	76	1	6	2,33	1,341
5.3	76	1	6	2,20	1,155
5.2	76	1	6	2,00	1,265
N valide (liste)	76				

### RII Culture

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
6.5	75	1	6	2,63	1,468
6.3	76	1	6	2,62	1,211
6.4	76	1	6	2,42	1,278
6.2	76	1	6	2,34	1,322
6.1	76	1	6	2,08	1,283
N valide (liste)	75				

## RII employés

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
7.3	76	1	6	2,42	1,181
7.4	76	1	6	2,34	1,302
7.6	76	1	6	2,33	1,350
7.7	76	1	6	2,26	1,226
7.1	76	1	6	2,17	1,300
7.2	76	1	6	2,16	1,212
7.5	76	1	6	2,13	1,379
N valide (liste)	76				

## RII Gouvernance

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
8.5	76	1	6	2,61	1,276
8.1	76	1	6	2,55	1,321
8.6	76	1	6	2,45	1,380
8.3	76	1	6	2,32	1,191
8.2	76	1	6	2,32	1,278
8.4	76	1	6	2,28	1,410
N valide (liste)	76				

## RII technologies

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Q9.1	76	1	6	2,76	1,504
Q9.2	76	1	6	2,47	1,474
Q9.3	76	1	6	2,42	1,398
Q9.4	76	1	6	2,39	1,377
Q9.5	76	1	6	2,26	1,473
Q9.6	76	1	6	1,99	1,371
Q9.7	76	1	6	1,99	1,301
Q9.8	76	1	5	1,57	,984
N valide (liste)	76				



Nom et Prénom : Nedjwa ELAFRI  
Titre: Le management de la qualité à travers les méthodes d'amélioration des processus

Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat L.M.D  
En management de projet

#### Résumé

Dans cette thèse, le Lean 4.0 est intégré à la méthode d'évaluation organisationnelle (MM) en apportant une contribution originale aux connaissances permettant de mesurer l'état actuel de la maturité du Lean 4.0, appelé modèle de maturité Lean 4.0 (MM) Lean 4.0. Celui-ci apporte et soutient les organisations de construction ainsi que les autres secteurs dans le développement de leur maturité et par conséquent améliore la connaissance et la compréhension du Lean 4.0. L'objectif de cette recherche est de mesurer l'écart entre la situation actuelle et future des organisations concernées par le Lean 4.0 dans leur cheminement vers une plus grande maturité du Lean 4.0. L'étude a été menée selon un plan quantitatif afin de découvrir et de comprendre le phénomène de la maturité Lean 4.0 des répondants pour atteindre au mieux les objectifs fixés par cette recherche. Par conséquent, le questionnaire a été utilisé comme principal outil pour la partie empirique. Pour garantir la validité, trois approches différentes ont été adoptées : une description approfondie, la mesure de la maturité et enfin la validation par analyse factorielle de la méthode développée. Ce cadre a défini une méthode d'évaluation de la maturité du Lean 4.0 en utilisant six niveaux de maturité, 9 dimensions clés, qui ont été décrits jusqu'à 47 outils, technologies et pratiques. Les principaux résultats de cette recherche sont les suivants : L'intégration réussie des MM et des Lean 4.0 obtenue grâce à l'élaboration de la proposition de la simplification du Lean 4.0 en 5 dimensions organisationnelles clés qui expliquent le Lean 4.0 dans un cadre plus simple et facile à appliquer. Enfin, la conséquence la plus importante de ce travail est de permettre les organisations pour obtenir une vue d'ensemble systémique et holistique de leur état actuel de maturité du Lean 4.0 et leur apporter un soutien dans leur maturation.

**Mot clés** : organisation de construction, le modèle de maturité MM, Lean 4.0, les dimensions organisationnelles, outils et technologies, MM Lean 4.0.

Directeur de thèse : Professeure SASSI BOUDEMAGH Souad -Université Constantine 3

Co-Directeur de thèse : Professeur ROSE Bertrand- Université de Strasbourg

Année universitaire 2020-2021