

« Méthodologie et outil de définition de la stratégie de transition 4.0 pour la chaîne logistique »

Auteurs


Ioana Deniaud, François Marmier, Jean-Louis Michalak

Document de Travail n° 2019 – 14

Avril 2019

**Bureau d'Économie
Théorique et Appliquée
BETA**

www.beta-umr7522.fr

 @beta_economics

Contact :
jaoulgrammare@beta-cnrs.unistra.fr

Méthodologie et outil de définition de la stratégie de transition 4.0 pour la chaîne logistique

Ioana Deniaud¹, François Marmier², Jean-Louis Michalak¹

1. Beta, CNRS UMR 7522, Université de Strasbourg, Strasbourg, France

2. IMT Mines Albi, Université de Toulouse, Toulouse, France

e-mail de correspondance : deniaud@unistra.fr

Code JEL : L25

Méthodologie et outil de définition de la stratégie de transition 4.0 pour la chaîne logistique

Résumé :

Dans un contexte de mondialisation, et de concurrence de plus en plus rude les clients sont de plus en plus exigeants. Pour rester compétitives, les entreprises sont ainsi poussées à augmenter leur réactivité tout en personnalisant leurs produits. L'Industrie 4.0 fait référence à la quatrième révolution industrielle. Elle décrit une vision de l'industrie du futur basée sur les nouvelles technologies et les outils informatiques. Cela implique nécessairement des transformations dans l'organisation et la gestion des entreprises ainsi que dans l'ensemble de la chaîne logistique.

Les donneurs d'ordre et les responsables de chaînes logistiques expriment des exigences de performance (en termes de coûts, délais, QHSE, RSE, personnalisation, etc.) envers les entreprises participantes à leur chaîne logistique. Pour obtenir de meilleures performances de la chaîne logistique au niveau global la transition vers le 4.0 doit ainsi être faite sur l'ensemble de participants (maillons).

Afin de faciliter le cadrage des transformations que doivent réaliser les entreprises, cet article vise à permettre de définir une stratégie tangible, pertinente (réalisable) et adaptée aux moyens de chaque maillon afin d'optimiser globalement la chaîne. Les contributions proposées sont : 1) une méthodologie de définition d'une stratégie pertinente vers une transformation 4.0 d'une chaîne logistique 2) un modèle d'évaluation qualitative du niveau de maturité des entreprises et de l'ensemble de leur chaîne logistique sur les différentes axes caractérisant la transformation 4.0. 3) Sur la base de l'écart constaté par rapport aux exigences des donneurs d'ordre, nous proposons un outil d'aide à la décision permettant de déterminer la stratégie de développement à adopter pour une transformation de la chaîne logistique vers le 4.0.

Mots clé : transformation 4.0, chaîne logistique, évaluation, modèle de maturité

Code JEL : L25

1 Introduction

La concurrence est toujours plus exacerbée et les clients de plus en plus exigeants. Les entreprises doivent donc s'adapter continuellement sur l'ensemble de la chaîne logistique qui doit devenir plus « intelligente », plus transparente et plus flexible à tous les niveaux (Prinz et al, 2016 ; Bareto et al 2017). L'objectif global étant de réduire les coûts, les délais et être innovantes, tout en proposant des produits et services personnalisés répondant à des exigences accrues et en garantissant la traçabilité. Les entreprises doivent donc combiner les avantages des modèles artisanaux et industriels.

Ces dernières années, de nouveaux concepts d'organisation se sont développés dans un rythme soutenu : l'entreprise ambidextre (capable de développer simultanément de projet innovants et routiniers), l'entreprise Lean (qui part à la chasse aux gaspillages pour augmenter la réactivité et le niveau de performance), l'entreprise agile, l'entreprise durable, l'entreprise étendue. Plus récemment le concept d'entreprise 4.0 (Kagermann et al, 2013) tire partie des concepts précédents en profitant de la modernisation des outils industriels par le numérique (*internet des objets, big data, systèmes cyber-physiques, intelligence artificielle*) (Lee et al 2015, Hermann et al, 2015, Hofmann & Rüsçh 2017). L'un de principaux défis de l'industrie du futur est de faire le lien entre le monde digital et le système physique par le développement des systèmes cyber-physiques (Lee et al 2015, Haberer & Behrendt, 2017). Pour cela les entreprises doivent innover continuellement. Selon l'INSEE (2018) la moitié des sociétés innovent et plus de 15% innovent dans la chaîne logistique notamment par l'introduction de systèmes de gestion informatisés. En effet l'évolution technologique et les outils informatiques permettent une collaboration en temps réel entre les différents services ou processus et produits intelligents, le partage de l'information, etc. Pour optimiser les flux de produits personnalisés, amplifier l'innovation des produits/services et améliorer la gestion des

ressources, les systèmes d'information permettent des connexions à tous les niveaux : des fournisseurs aux clients en passant par les équipements. Il ne suffit donc pas qu'une entreprise opère seule, en interne, une transition vers le 4.0, mais il est nécessaire que l'ensemble de la chaîne logistique progresse dans cette transition. Il s'agit de comprendre les exigences du donneur d'ordre dans la chaîne logistique globale, transformer ces exigences en besoin interne pour chaque maillon, et enfin de définir des stratégies tangibles, pertinentes en fonction de ses propres moyens.

La plupart des entreprises de la chaîne logistique ne savent pas comment réaliser cette transition vers le 4.0. Pour cela, nous soutenons l'idée qu'elles doivent être en mesure de réaliser un diagnostic factuel de leur fonctionnement au regard des différents axes de la transformation 4.0. Elles ne savent pas non plus comment fixer des objectifs atteignables définissant une stratégie de transformation vers le 4.0. En effet, il peut être difficile pour une entreprise seule, notamment PME et TPE, dont les moyens humains et financiers sont plus limités, d'identifier la démarche à suivre et de définir une nouvelle stratégie tout en ayant conscience des risques encourus. L'environnement et la typologie de production (*make to order, make to stock, mass customization, etc.*) impacteront directement le choix de cette stratégie. Dès lors, il est nécessaire de donner aux acteurs une méthode et des outils afin d'accompagner les entreprises d'une chaîne logistique dans leurs transformation 4.0. A ce jour, il n'existe pas de méthode de transformation organisationnelle pour aider les entreprises à se positionner et définir une stratégie leur permettant de prioriser la transformation de leur chaîne logistique vers le 4.0.

L'objectif de cet article est de proposer une méthode et des outils permettant aux entreprises participantes à une chaîne logistique donnée de réussir leur transition vers l'« Industrie du futur ». Dans un premier temps nous présentons les différents domaines de la transformation 4.0 dans les entreprises industrielles ainsi que le modèle

d'évaluation de la maturité existants dans la littérature. Puis nous proposons un modèle d'évaluation de la performance de l'entreprise faisant partie d'une chaîne logistique pour les accompagner dans la transformation vers le 4.0. Ce modèle permet à la fois d'évaluer le niveau de maturité actuel de chaque entreprise mais aussi d'avoir une vision globale de l'intégralité de la chaîne logistique dont elles font partie. Cela permet ainsi de visualiser l'écart entre celui-ci et le niveau de maturité exigée par le donneur d'ordre. L'analyse de l'écart permet de définir la stratégie de transformation 4.0 à mettre en œuvre.

2 Etude de la littérature : domaines stratégiques de la transition 4.0

Cette section présente une étude de la littérature concernant, les domaines stratégiques de la transition 4.0 et les modèles d'évaluation de maturité utilisées. La maturité désigne l'étape dans laquelle se trouve un organisme qui a atteint son plein-développement (Le Petit Larousse, 2001).

De nombreuses recherches se sont intéressées aux aspects technologiques de l'entreprise 4.0 (Vaidya et al 2018) et de ses implications dans la chaîne logistique (Hermann et al 2016 ; Tjahjono et al, 2017 ; Bareto et al 2017). Les aspects technologiques concernent principalement le concept de « *smart factory* », c'est-à-dire la création d'un environnement intelligent et apprenant dans le système de production d'une entreprise (Faller & Feldmüller, 2015 ; Prinz et al, 2016). Poussé par l'Internet, le monde réel et virtuel de l'entreprise se transforme en « *Internet of Things* » pour être plus rapide, plus efficient et plus flexible en termes de production en utilisant des « *big data intelligentes* ». La production est mise en relation avec la technique d'information et de communication la plus moderne pour créer une chaîne logistique intelligente, digitalement connectée et dont la production est organisée en grande partie par elle-même, tout en se basant sur les concepts du *lean* (Sanders et al 2016).

Cela suppose également une interconnexion entre les produits, les machines, l'écosystème et même les consommateurs, et ceci à chaque étape de la vie du produit depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie.

Nous soutenons l'idée que la transformation vers le 4.0 n'est pas seulement technologique mais concerne l'organisation dans son ensemble du business model à la production. Le passage vers la chaîne logistique 4.0 suppose une transformation globale, puisqu'il se déroule à plusieurs niveaux : énergétique, écologique, numérique, organisationnel et sociétale. Les chaînes logistiques sont ainsi de plus en plus complexes et difficiles à appréhender. L'enjeu est d'autant plus important que pour que la chaîne logistique globale fonctionne, il est nécessaire que les entreprises partenaires réalisent également une transition vers le 4.0.

D'après l'étude allemande de Lichtblau et al. (2015), seulement 16,8% des entreprises disposent même d'un système d'évaluation de leurs performances par rapport au 4.0, mais moins de la moitié d'entre elles considèrent que leur système d'indicateurs est adéquat. Ils observent une tendance basée sur la taille de l'entreprise : plus l'entreprise est grande, plus il est probable qu'elle utilise un système d'indicateurs pour mesurer le statut de mise en œuvre de l'industrie 4.0.

2.1 Niveaux de maturité

Le premier modèle d'évaluation du niveau de maturité est CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) développé à partir de 2001 par le Software Engineering Institute (SEI), essentiellement pour les entreprises d'informatique. Pour le SEI, la capacité d'un processus est à situer sur une échelle à six niveaux. CMMI décrit 25 processus (process area). Un processus peut être incomplet, exécuté, géré, défini ou documenté, géré quantitativement et optimisé. Une échelle a également été établie pour situer la maturité d'une organisation sur 5 niveaux : Initial, Discipliné, Ajusté, Géré quantitativement,

optimisé constamment.

En plus de ce modèle générique nous avons identifié dans la littérature plusieurs études concernant l'évaluation de la performance d'une entreprise par rapport à l'Industrie 4.0. Dans la même ligne que CMMI, Lichtblau, K. (2015) propose un modèle « *4.0 Readiness Model* » ayant six niveaux de maturité nommés “*outsider*”, “*beginner*” pour le *newcomers* “*intermediate*”, “*experienced*” pour les *learners*, “*expert*”, “*top performer*” pour les leaders. Ce modèle considère six dimensions : Stratégie et organisation, usine intelligente, opérations intelligentes, produits intelligents, services basés sur les données, employés. Plus récemment Haberer et al. (2017) ont proposé un modèle d'évaluation d'un index de Maturité pour les SME sur 5 niveaux : *Standard, Big Data, Smart Data, Dark Factory, Industrial Ecosystem*. Ils considèrent 5 secteurs de l'entreprise : Business Management, Développement, Manufacturing, Supply chain and Service.

Sur la base de ces travaux nous proposons des niveaux de maturité adaptés à notre problème et permettant l'évaluation des entreprises.

2.2 Domaines stratégiques de la transition 4.0

Plusieurs auteurs discutent de l'impact de l'industrie 4.0 dans la chaîne logistiques en montrant la nécessité d'avoir une vision globale. Ainsi Barreto et al (2017) discute de quelques implications technologiques dans la planification, le stockage, le transport et la sécurité des données. Hoffman et Rüsçh (2017) identifient des opportunités en termes de décentralisation, autorégulation et efficacité et des implications dans la le contexte de Juste à temps. Tjahjono et al (2017) considèrent quatre domaines interconnectés : achats, entreposage, transport et ventes. L'évaluation est basée uniquement sur des critères technologiques. (Blanchet et Bergerried, 2014) répartissent le concept de l'Industrie 4.0 en 6 axes - la conception du produit/processus, pilotage/contrôles,

opération de fabrication, services (maintenance, intégration), big data et organisation du travail - qui couvrent les principaux aspects du 4.0. (Hermann et al, 2015) identifient dans la littérature quatre composantes clés de l'industrie 4.0. Systèmes cyber-physiques, internet des objets, l'internet des services, usines intelligentes. Ils définissent six principes que les entreprises devraient prendre en compte pour implémenter des solutions le 4.0 : interopérabilité, virtualisation, décentralisation, capacité de travail en temps-réel, orientation services, modularité. Un modèle plus complexe, en trois dimensions est le modèle RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industrie 4.0) présenté par Hankel & Rexroth (2015). Ce modèle utilise 6 strates (Business, Fonctionnel ; Informationnel, Communication ; Intégration, Les actifs) qu'il décline en fonction de cycle de vie du produit et des niveaux hiérarchiques.

En plus des aspects purement technologiques Schumacher et al (2016) propose un modèle de maturité qui intègre également les aspects liés à l'humain et de culture, que nous souhaitons intégrer également dans notre modèle. D'autant plus que Staun (2015) parle de 5 mutations qui ont lieu quasiment simultanément aujourd'hui :

- technologique : internet de la communication, internet des objets, impressions 3D et internet de l'énergie ;
- conceptuelle (silencieuse) commencé il y a plus d'un siècle, qui change la vision du monde par de découvertes réalisées dans les sciences fondamentales ;
- une sociétale avec le passage de l'avoir à l'être initié par groupe d'individus créatifs ;
- une économique basé sur la mise en place d'une dimension éthique au cœur de l'économie du marché.

Sur la base des travaux évoqués précédemment nous proposons dans cet article de prendre en compte également les aspects liés à l'humain, aux aspects sociaux et sociétaux, au développement durable et à l'innovation afin de construire une méthode et un modèle réaliste et atteignable dans une transformation vers la chaîne logistique 4.0. Suite à l'étude de la littérature nous avons dégagé quatre grands domaines qui représentent au mieux notre vision de l'entreprise et les enjeux majeurs qu'elle doit être capable d'intégrer :

- la conception des produits et procès
- la production, logistique et maintenance
- l'organisation stratégique et innovante
- l'organisation durable et responsable

3 Méthodologie de définition d'une stratégie de transformation 4.0

Nous proposons une méthodologie structurée suivant les étapes composant la roue de Deming (*Plan - Do - Check - Act*). Elle intègre une évaluation qualitative du niveau de maturité par rapport aux différents domaines et axes de la transformation 4.0 d'une chaîne logistique (SC), une analyse des écarts et une définition de plans d'actions pour la transformation vers le 4.0 (Figure 1).

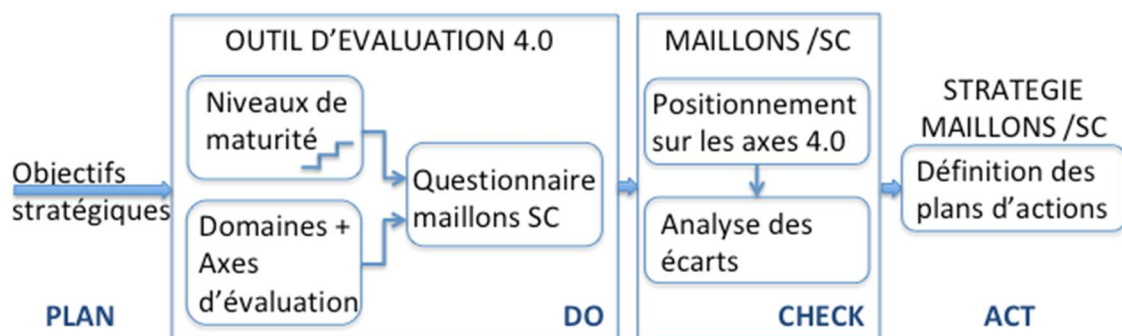


Figure1. Méthodologie de définition d'une stratégie de transformation 4.0

Les finalités de ces différentes étapes au regard de la transition sont détaillées ci-dessous.

PLAN : définit les objectifs stratégiques du responsable de la chaîne logistique. Cela permet d'identifier l'ensemble des exigences pour le développement futur ainsi que les ressources nécessaires.

DO : propose un outil de diagnostic 4.0 de la chaîne logistique et de ses maillons. Cela consiste en :

- la définition d'une échelle de maturité
- l'identification des domaines à prendre compte pour l'évaluation
- la définition pour chaque domaine identifié des axes d'évaluation
- la réalisation d'un questionnaire

CHECK : suite à la réponse au questionnaire cette étape permettra le positionnement de l'entreprise sur chaque axe de la transformation 4.0. Les enjeux concernent :

- l'évaluation de chaque maillon de la chaîne logistique
- évaluation globale de la chaîne logistique
- analyse des écarts

ACT : consiste dans la définitions d'une stratégie 4.0 avec de plans d'action (long, moyen et court terme) pour l'ensemble de la chaîne logistique ainsi que pour chacun de ses maillons.

Dans la suite de notre article nous allons nous focaliser sur les étapes Do et Check afin de proposer un outil de diagnostic 4.0 qui permettra d'analyser les écarts par rapport aux objectifs de maturité de chaque axe de transformation 4.0.

4. Modèle et outil de diagnostic du niveau de maturité 4.0

En partant de modèles de la littérature nous proposons un modèle et un outil de diagnostic, mettant en parallèle les enjeux majeurs dans la transformation 4.0 ainsi que les différents niveaux de maturité de la chaîne logistique. Dans notre modèle nous prenons en compte la gestion des données intégrées dans des progiciels ERP/MES, la vision client 360° et le PLM (*Product Lifecycle Management*) ainsi que les aspects liés à l'humain et à son environnement (créativité, innovation, chaîne logistique responsable et durable).

4.1. Modèle de diagnostique 4.0

Nous proposons un modèle global réunissant tous les domaines de la transformation 4.0 précédemment présentés. Ce modèle permet de sélectionner les axes d'amélioration et les stratégies à adopter afin que la chaîne logistique puisse répondre aux exigences du donneur d'ordre et aux besoins du client final.

Chaque domaine est détaillé en plusieurs axes dans le modèle de diagnostique 4.0 (Figure 2). Par exemple concernant le domaine « Organisation Stratégique » les axes sont les suivantes :

- Organisation Opérationnelle avec : Formation et Management de ressources ;
- Business Model avec : Intégration du client et Economie de la fonctionnalité ;
- Gestion de l'innovation avec : Développement des Communautés et Génération des idées.

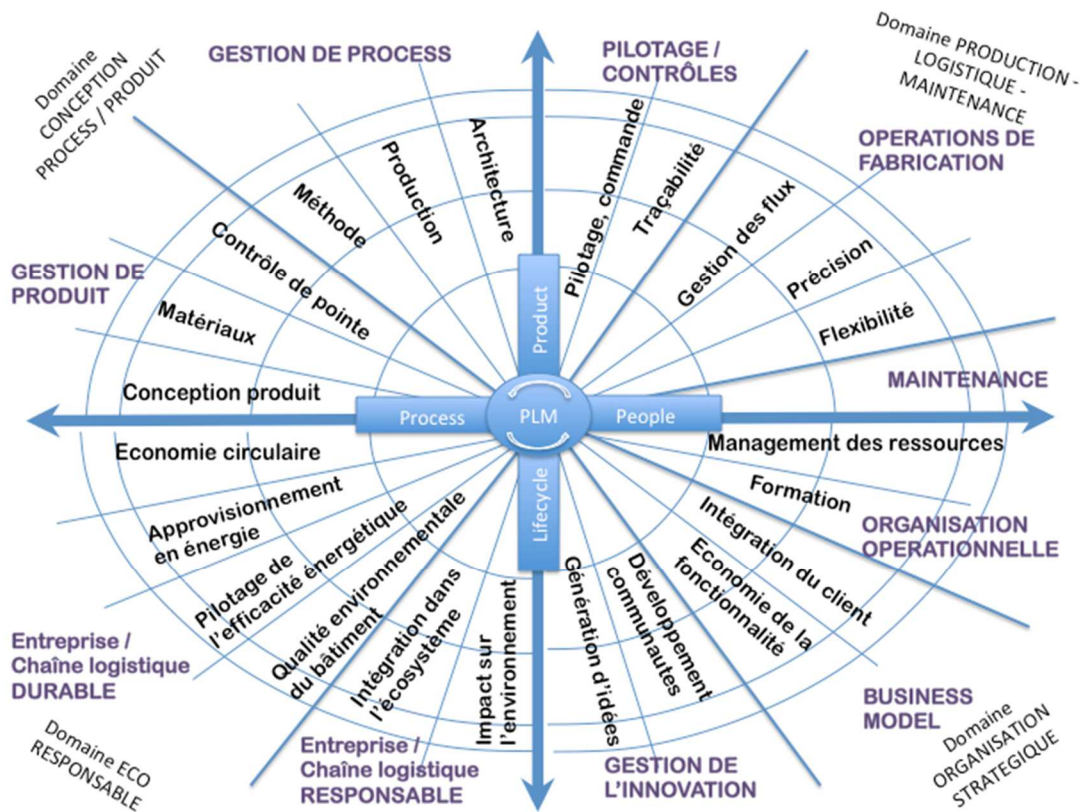


Figure 2. Modèle de diagnostic 4.0 (voir Annexe)

Pour l'étape « DO » de notre méthodologie, en partant des modèles de maturité trouvés dans la littérature, nous proposons six niveaux de maturité pour le modèle de diagnostic: « outsider » et « basique », pour les nouveaux venus qui commencent à s'interroger, « discipline » et « ajusté » pour les entreprises apprenantes (Prinz et al, 2016), qui ont engagé déjà une transformation vers le 4.0, « expert optimisé », « expert innovant » qui sont le leaders et représentent la vitrine de l'entreprise du futur. Ces derniers ont déjà réussi à atteindre les exigences requises sur tous les aspects de la transformation 4.0 et sont engagés dans une démarche d'innovation continue.

4.2. Questionnaire

Le modèle de diagnostic présenté est accompagné d'un questionnaire relatif à chaque domaine et axe identifié. Une priorisation est indiquée en fonction du secteur

d'activités, et de la typologie de l'entreprise questionnée. Le questionnaire permet d'interroger une entreprise quant à son fonctionnement actuel.

Domaine	Axes	Priorisation	Questions
2.0 Organisation Stratégique	2.1 Management des ressources	3	Accordez-vous de l'importance à la responsabilisation et à l'autonomie de vos salariés?
2.0 Organisation Stratégique	2.2 Formation	0	Réalisez-vous une partie de la formation de vos salariés en interne? Si oui, sous quelle forme?
2.0 Organisation Stratégique	2.3 Intégration du client	3	Proposez-vous une offre de services/produits personnalisés ou standardisés?
2.0 Organisation Stratégique	2.4 Economie de la fonctionnalité	0	Votre stratégie repose t-elle plutôt sur la vente du produit ou sur la vente de services associés à un produit?
2.0 Organisation Stratégique	2.5 Protection du savoir	0	Comment utilisez-vous les titres de propriété industrielle? Faites-vous de la veille technologique?
2.0 Organisation Stratégique	2.6 Génération d'idées	0	Quels acteurs internes ou externes interviennent dans votre processus de génération d'idées?

Figure 3. Questionnaire (Extrait)

De manière à être le plus pertinent possible dans le choix des questions et tout en étant assez brefs, nous avons décidé de ne poser qu'une question par axe développé, afin que toute entreprise puisse répondre à toutes les questions et d'avoir donc une évaluation la plus globale possible.

Les réponses au questionnaire sont insérées par la suite dans l'outil qui permettra l'évaluation de la maturité de chaque entreprise questionnée et de leur chaîne logistique.

4.3 Outil d'aide à la décision stratégique

Pour l'étape « Check » de notre méthodologie nous proposons un outil d'aide à la décision (Figure 4) qui permet de déterminer le niveau de maturité de chaque maillon puis de l'ensemble de la chaîne logistique sur les différents axes présentés auparavant. Il permet également de visualiser le niveau de maturité actuel pour chaque axe ainsi que l'objectif attendu.

Evaluation de la transition vers l'usine du futur										
Domaine	Axes	Priorisation	CIBLE		Entreprise 1		Entreprise N		SupplyChain	
			Maturité	Niveaux	Maturité	Niveaux	Maturité	Niveaux	Maturité	Niveaux
1.0 Production logistique maintenance	1.1 Pilotage, commande	3	Ajusté	3	Ajusté	3	Ajusté	3	Ajusté	3
1.0 Production logistique maintenance	1.2 Traçabilité	3	Ajusté	3	Ajusté	3	Ajusté	3	Ajusté	3
1.0 Production logistique maintenance	1.3 Gestion des flux	3	Discipliné	2	Discipliné	2	Discipliné	2	Discipliné	2
1.0 Production logistique maintenance	1.4 Précision	0	Expert_Optimisé	4	Expert_Optim	4	Expert_Opti	4	Expert_Optimisé	4
1.0 Production logistique maintenance	1.5 Flexibilité	0	Expert_Innovant	5	Expert_Innov	5	Expert_Inno	5	Expert_Innovant	5
1.0 Production logistique maintenance	1.6 Maintenance	0	Discipliné	2	Discipliné	2	Discipliné	2	Discipliné	2

Figure 4. L'outil d'évaluation de la maturité (extrait)

Suite aux réponses du questionnaire le tableau de l'outil est renseigné et le niveau de maturité pour chaque entreprise est calculé pour chaque axe. Le niveau de maturité global pour la chaîne logistique est automatiquement calculé par la suite. Chaque résultat est comparé avec le niveau de maturité cible que se soit pour une entreprise ou pour l'ensemble de la chaîne logistique. Les écarts constatés (Figure 5), sont représentés automatiquement sur chaque axe du « Modèle de diagnostique 4.0 » présenté en annexe.

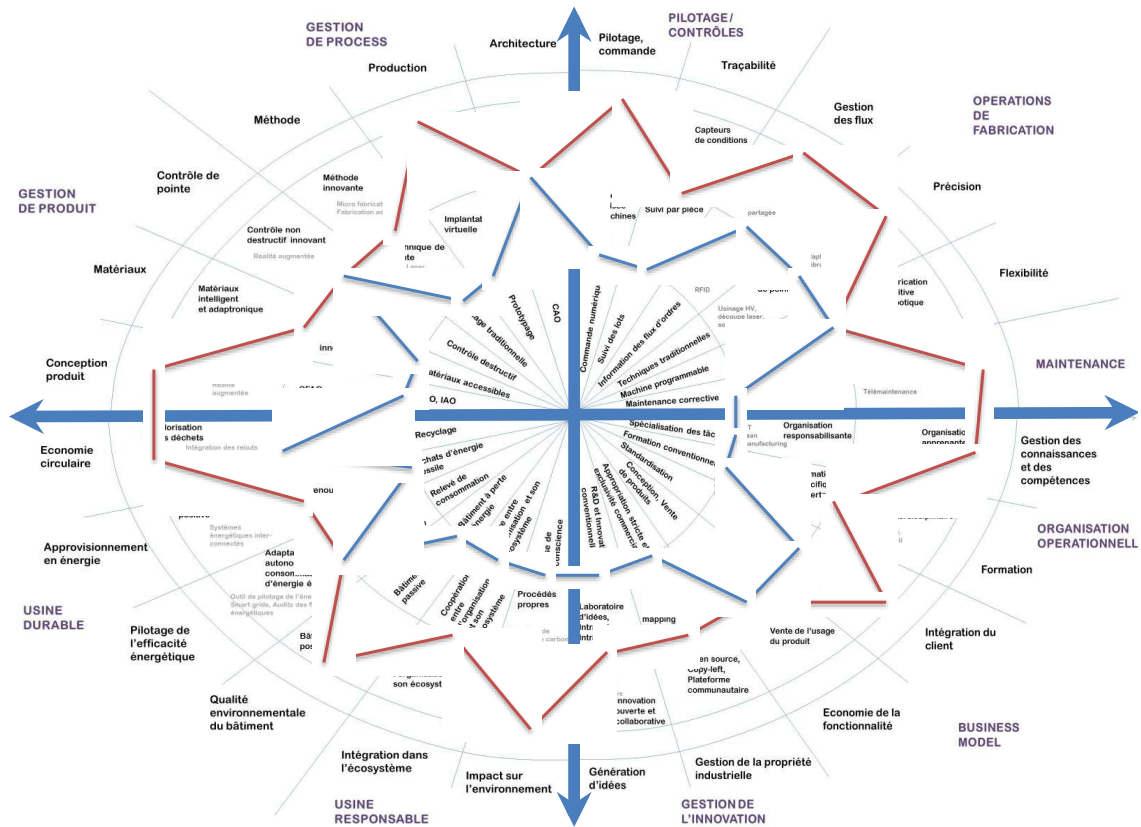


Figure 5. Représentation des écarts

Cette représentation permet de constater rapidement :

- la situation initiale (courbe intérieure - bleu)
- la situation visée (courbe extérieure - rouge)
- et d'identifier les écarts donc les axes de développement

Nous pouvons également utiliser un calcul quantitatif pour évaluer le niveau de maturité globale de la chaîne logistique (M_{SCj}) pour chaque axe de transformation j de la manière suivante :

$$M_{SCj} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ij}}{n}$$

où n : le nombre d'entreprises dans la chaîne logistique (SC) considérée ;

M_{ij} : le niveau de maturité de l'entreprise i sur l'axe j

Pour une vision plus macroscopique, nous pouvons également calculer le niveau global de maturité atteint par la chaîne logistique (SC). En effet, en fonction de l'environnement et la typologie de production, une pondération par axe associée à un niveau de priorisation est envisagée. En fonction de la pondération (p_j) de chaque axe (voir figure 4) nous obtenons ainsi :

$$MSC = \frac{\sum_{j=1}^m MSC_j * p_j}{m}$$

où m : le nombre d'axes considérées

Suite à l'analyse des écarts notre méthodologie prévoit dans « ACT » de définir une stratégie et des plans d'actions pour la transformation future des entreprises et de leurs chaînes logistiques vers le 4.0. Pour les entreprises impliquées dans la chaîne logistique, cette stratégie prend en compte une compétitivité durable, les contraintes environnementales et le besoin de création de richesse en minimisant la consommation de ressources. La stratégie globale de la chaîne logistique sera déployé au niveau de chacune des entreprises participantes afin de définir : Quelle est sa stratégie de développement futur ? Quels sont les plans d'action ? Quelles sont les priorités ? Quels moyens mettre en œuvre ?

4 Conclusions et perspectives

Dans la dynamique du redressement productif de notre tissu industriel français cet article vise à proposer une méthodologie et un outil de définition de la stratégie de transformation 4.0 pour la chaîne logistique. La méthodologie proposée vise à aider les entreprises à concevoir et à piloter une stratégie de transformation de leur chaîne logistique vers le 4.0. Ceci afin de demeurer compétitives pour répondre aux exigences des clients. Les entreprises gagneront en agilité et efficacité sans oublier la rentabilité, tout en étant durables et respectueuses de l'homme et de son environnement. Elles

pourront ainsi s'insérer plus facilement dans les chaînes logistiques 4.0 (des fournisseurs jusqu'au client final).

La méthodologie proposée sera utilisée dans plusieurs études industrielles qui seront valorisés dans un prochain article. Il est notamment attendu une cartographie des processus agiles et des plans d'action en fonction de la stratégie choisie par chaque entreprise afin de garantir l'efficacité opérationnelle tout en générant de l'innovation.

En perspectives nous envisageons de proposer un modèle spécifique de gestion des risques, permettant la prise de décisions dans la sélection d'une stratégie de transition, en partant de la caractérisation du modèle d'influence des risques sur le projet de transformation vers la chaîne logistique 4.0.

5 Bibliographie

Alliance Industrie du Futur (2015). *Guide pratique de l'Usine du Futur - Enjeux et panorama de solutions*, consulté sur: <https://www.pfa-auto.fr/>

Barreto, L., Amaral A. & Pereira T. (2017). *Industry 4.0 implications in logistics: an overview*. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.

Blanchet, M., & Bergerried, R. (2014). *Industrie 4.0-Les leviers de la transformation*. Gimélec, consulté sur: http://eduscol.education.fr/sti/ressources_techniques/

Chrissis M.B., Konrad M., Shrum S. (2008). *CMMI 2^e Edition - Guide des bonnes pratiques pour l'amélioration des processus - CMMI (r) pour le développement, version 1.2*. SEI, Pearson Education France.

Duc C. (2018). *La moitié des sociétés procèdent à des innovations*. Insee Première n°1709.

Faller C. & Feldmüller D. (2015). *Industry 4.0 learning factory for regional SMEs*. *Procedia Cirp*, 32, 88-91.

Hankel M., & Rexroth B. (2015). *The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0)*. ZVEI, 2, 2. Consulté sur: <https://www.plattform-i40.de/>

Herberer S., Lau L.K. Behrendt F. (2017). *Development of an Industrie 4.0 Maturity Index for Smal and Medium-sized Enterprises*. IESM Conference, Saarbrucken.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. IEEE 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS), 3928-3937.

Hofmann E., Rüsç M. (2017). *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. *Computers in Industry*, Vol. 89, 23-34.

Kagermann, H., W. Wahlster & J. Helbig, eds., (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group.

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.

Le Petit Larousse illustré, (2001). Editeur Petit Larousse.

Lichtblau, K., Stich V. (2015). *Industrie 4.0-Readiness*. Ouvrage collectif, Impuls-Stiftung, Foundation for mechanical engineering, plant engineering and informatin technology.

- 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.
- 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.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). *A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises*. Procedia Cirp, 52, 161-166.
- Software Engineering Institute (2002), *Capability Maturity Model Integration, Continuous Representation*, Version 1.1. SEI, Pittsburgh.
- Staun J. (2015). *Les clés du futur. Réinventer ensemble la société, l'économie et la science*, Ed. Plon.
- Tjahjono B., Esplugues, C., Ares E., & Pelaez G. (2017). *What does industry 4.0 mean to supply chain?* Procedia Manufacturing, 13, 1175-1182.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). *Industry 4.0—a glimpse*. Procedia Manufacturing, 20(1), 233-238.

ANNEXE: Modèle de diagnostic 4.0

