



HAL
open science

Performance industrielle : une évolution intégrant l'éthique dans le contexte de l'Industrie 4.0

Lamia Berrah, Vincent Cliville, Damien Trentesaux, Claude Chapel

► To cite this version:

Lamia Berrah, Vincent Cliville, Damien Trentesaux, Claude Chapel. Performance industrielle : une évolution intégrant l'éthique dans le contexte de l'Industrie 4.0. Congrès CIGI QUALITA 2021, May 2021, Grenoble, France. pp.466-473. hal-03268762

HAL Id: hal-03268762

<https://uphf.hal.science/hal-03268762>

Submitted on 23 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Performance industrielle : une évolution intégrant l'éthique dans le contexte de l'Industrie 4.0

LAMIA BERRAH¹, VINCENT CLIVILLE¹, DAMIEN TRENTESAUX², CLAUDE CHAPEL³

¹ LISTIC, Université Savoie Mont Blanc
74940 Annecy France

lamia.berrah@univ-smb.fr, vincent.cliville@univ-smb.fr

² LAMIH UMR CNRS 8201, Université Polytechnique Hauts de France,
59313 Valenciennes France

damien.trentesaux@uphf.fr

³ NTN SNR, 1 rue des Usines,
74010 Annecy France

clau.chapel@ntn-snr.fr

Résumé - Cet article traite de la performance industrielle et de l'enrichissement de son triangle (efficacité, efficacité, effectivité) en vue d'y intégrer la dimension éthique. L'apport de l'éthique à la performance est discuté dans le contexte actuel de l'Industrie 4.0 qui, de par la numérisation des activités de production, le développement de Systèmes Autonomes voire Intelligents et la profusion de données qui la caractérisent, offre bon nombre de situations dans lesquelles le modèle de performance traditionnel trouve ses limites pour la garantie de la pérennité des systèmes. Ces limites peuvent être liées aussi bien aux objectifs assignés qu'aux moyens utilisés pour les atteindre. Après un rappel des spécificités de l'Industrie 4.0, une analyse de l'évolution de la notion de performance et de ses outils de déploiement, depuis la période taylorienne jusqu'à aujourd'hui, est présentée. Le triangle (efficacité, efficacité, effectivité) y est progressivement introduit et ses limites sont montrées. Une proposition intégrant, dans un tétraèdre, l'éthique à ce triangle est décrite et illustrée sur les conséquences de la mise en place d'un MES (Manufacturing Execution System) chez un équipementier aéronautique, en termes de traçabilité des produits et d'autonomie des opérateurs. Une discussion et des perspectives à la proposition concluent cette étude.

Abstract - This paper deals with industrial performance and the enrichment of its triangle (efficiency, effectiveness, relevance) with a view to integrating the ethical dimension. The contribution of ethics to performance is discussed in the current context of Industry 4.0 which, due to the digitisation of production activities, the development of Autonomous or even Intelligent Systems and the profusion of data that characterise it, offers situations in which the traditional performance model finds its limits in terms of guaranteeing the durability of systems. These limits can be related both to the assigned objectives and to the way in which the means are used to achieve them. After a reminder of the specificities of Industry 4.0, an analysis of the evolution of the performance notion and its deployment tools, from the Taylorian period to today, is presented. The triangle (efficiency, effectiveness, relevance) is gradually introduced and its limits are shown. A proposal integrating, in a tetrahedron, the ethics to this triangle is described. Such a proposition is illustrated regarding the consequences of the implementation of a MES (Manufacturing Execution System) for an aeronautical supplier, in terms of product traceability and operator autonomy. Discussion and prospects to the proposal conclude this study.

Mots clés - Performance industrielle, Industrie 4.0, Ethique.

Keywords - Industrial performance, Industry 4.0, Ethics.

1 INTRODUCTION

Depuis les trente glorieuses, la performance des entreprises s'est implicitement faite synonyme de rentabilité [Taylor, 1911] [Johnson, 1975]. Pour répondre à cette vision, la performance industrielle, *i.e.* celle des systèmes de production, a commencé par s'exprimer en termes de Coût : rendement des équipements et productivité de la MOD (Main-d'Oeuvre Directe). Le modèle de la performance s'est par la suite étendu pour prendre en compte les évolutions du contexte, en particulier les notions de satisfaction client et de compétitivité. L'expression de la performance a alors intégré respectivement la Qualité : conformité des produits et process et le Délai : de mise à disposition. L'expression de la performance était ainsi fondée sur le déploiement d'un objectif stratégique de rentabilité en objectifs tactiques et opérationnels essentiellement de Coût, Qualité et Délai. Les notions d'Indicateurs de Performance et de

Systèmes d'Indicateurs de Performance ont été mises en avant dès lors que les seuls calculs financiers ne suffisaient plus à l'expression de la performance [Kaplan et Norton, 1992]. Définis pour renseigner de l'atteinte des différents objectifs assignés et par-delà même de l'efficacité des actions associées, ils deviennent les outils d'aide au pilotage des systèmes de production [Popova et Sharpanskykh, 2010]. En ayant identifié la pérennité de l'entreprise à une rentabilité, courttermiste, qu'il suffisait d'atteindre en maximisant les résultats atteints au regard des critères mentionnés, le modèle de performance était présumé valide. Progressivement, le bien-fondé de ces pratiques a commencé néanmoins à être interrogé avec des évolutions telles que la mondialisation accrue et ses besoins de coordination, la limite des ressources naturelles et ses besoins de réduction de consommation, etc. La recherche permanente de maximisation des critères usuels a de ce fait eu de plus en plus besoin d'être bornée par des règles et des normes

prenant en compte les nouvelles hypothèses de production. En particulier, par sa révolution technologique, l'Industrie 4.0 amène à son tour des changements renforçant le besoin de questionner le modèle de performance, en matière d'objectifs à atteindre et d'actions à mener. La « transformation » digitale touche, en effet, par l'intelligence et la profusion de données proposées, les différentes dimensions reliées à l'activité industrielle, *i.e.* aussi bien le fonctionnement (technologique) des systèmes que leur pilotage (organisation et management) [Fettig et al., 2018]. Les opportunités et conséquences de cette transformation restent encore aujourd'hui mal connues et requièrent ainsi une vigilance et une analyse accrues.

Traitant de l'évolution du modèle de performance industrielle, cet article se place dans le contexte de l'Industrie 4.0. En ce sens, parmi les concepts relevant de questions de bien-fondé autour de la notion de performance vient le concept d'effectivité [Le Moigne, 1990]. Troisième facette de la performance, aux côtés de l'efficacité qui traite du rendement des équipements et de l'efficacéité qui concerne l'atteinte des objectifs assignés, l'effectivité porte sur l'adéquation, pour le système, entre les objectifs assignés et les moyens alloués. Jusqu'à l'Industrie 3.0, l'effectivité s'est traduite par une action sur les moyens, bien maîtrisés, pour maximiser l'atteinte des objectifs et aura été fondue dans la double recherche de l'efficacité et l'efficacéité. Parmi les pistes pour compléter le triplet (efficacité, efficacéité, effectivité), nous choisissons celle globale de l'éthique, dans sa recherche, par essence, d'« *une vie bonne, avec et pour autrui, dans des institutions justes* » [Ricoeur, 1990]. Vue aujourd'hui comme faisant partie des politiques de RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises), l'éthique représente le paradigme permettant de borner tout objectif et action œuvrant pour la pérennité de l'entreprise, *i.e.* sa rentabilité à la fois à court et long termes. Afin d'illustrer cette idée, nous reviendrons dans un premier temps sur les spécificités de l'Industrie 4.0 ainsi que les conséquences de son implantation. Nous analyserons alors le modèle de la performance puis préciserons la problématique. Nous montrerons en quoi le concept d'éthique et ses paradigmes font nécessairement évoluer le concept de performance. Le principe d'un déploiement de la performance enrichi de cette dimension est proposé puis illustré par un cas d'étude apporté par un équipementier aéronautique. Quelques remarques et perspectives concluront enfin cette étude.

2 L'INDUSTRIE 4.0

De par ses piliers technologiques (Figure 1), l'Industrie 4.0 transforme les systèmes de production qui passent d'Automatisés à Autonomes/Intelligents (Systèmes Cyber-Physiques, Cobots, Robots). Vue comme « *an umbrella term used to describe a group of connected technological advances that provide a foundation for increased digitization of the business* » [Burritt et Christ, 2016], elle représente un changement majeur dans la manière de concevoir et de réaliser l'activité industrielle. Au-delà, il est admis que le concept n'est pas maîtrisé en matière de portée des opportunités qu'il présente [Ivanov et al., 2019]. L'Industrie 4.0 se caractérise en effet par des aspects, synthétisés en les points suivants, qui la rendent source de restriction, complexité et risques [Ghobakhloo, 2018] [Trentesaux et Caillaud, 2020] :

- une digitalisation de plus en plus importante des différentes activités liées à la production ;
- le développement de systèmes autonomes/intelligents, à même d'exécuter ces activités ;
- l'augmentation des interactions entre l'Homme et les Intelligences Artificielles.



Figure 1. Les piliers de l'Industrie 4.0 [Saturno et al., 2017]

L'aspect restrictif de l'Industrie 4.0 concerne les dimensions environnementales et sociétales dans la limitation des ressources utilisées et des impacts sociétaux des technologies utilisées. Quant à la complexité, elle est induite par :

- le grand nombre d'acteurs impliqués à la fois dans la conception des systèmes et l'usage de ces derniers ;
- l'impossibilité d'avoir une vue exhaustive des comportements, en cas de changements, des systèmes (autonomes/intelligents).

Les risques soulignés dans la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 concernent les retombées sur les Hommes qui y sont impliqués. Ils sont essentiellement liés [Trentesaux et Caillaud, 2020] :

- à la fiabilité limitée des interactions des Hommes avec les systèmes intelligents ;
- au sacrifice potentiel de leur bien-être, voire leur remplacement, à des fins d'accroissement de la productivité ;
- à la perte de compétence en conséquence de ce remplacement.

Concernant l'expression de la performance, l'Industrie 4.0 offre plusieurs opportunités [Kamble et al., 2018]. Vient celle d'une meilleure atteinte des objectifs, de par la précision des procédés mis en œuvre. D'autre part, de par : une traçabilité accrue, la mise à disposition des informations en temps réel et à tout moment, la réduction des erreurs de *reporting* du fait de leur automatisation, elle permet un pilotage encore plus réactif. L'Industrie 4.0 vient renforcer l'efficacité et l'efficacéité du système de production.

En résumé, nous pouvons considérer que les systèmes de production de l'Industrie 4.0 sont des systèmes par essence digitaux et complexes et dont les comportements et réactions aux changements sont parfois imprévisibles et potentiellement risqués, même si des recherches sont menées pour assurer la correcte intégration des Hommes dans ces systèmes [Pacaux-Lemoine et Trentesaux, 2019]. Maintenir le cap sur une amélioration permanente du triptyque C-Q-D (Coût-Qualité-Délai) pour une recherche d'efficacité-efficacéité-effectivité telle que pratiquée dans l'Industrie 3.0 peut en effet questionner. Afin de répondre à un tel questionnement, rappelons dans un premier temps les définitions et évolutions essentielles de la notion de performance industrielle et de ses postulats.

3 D'UNE VISION HISTORIQUE A UNE VISION MODERNE DE LA PERFORMANCE

3.1 La notion de performance

Dans son sens commun, la performance « *désigne un résultat exceptionnel, hors du commun, optimal. Elle relève d'attentes que l'on peut traduire en objectifs* » [Boisvert, 2019]. Véhiculant la notion d'optimalité, la performance a été associée, au niveau des entreprises, au critère de rentabilité et aux objectifs qui contribuent à cette dernière (Tableau 1). La rentabilité ayant été à son tour identifiée à la finalité de

l'entreprise, elle s'en est devenue assimilée à sa pérennité. Aussi, performance, rentabilité, pérennité sont-elles devenues plus ou moins judicieusement synonymes en milieu industriel. Héritant de cette vision, la performance industrielle a été en tout premier lieu synonyme de productivité de la MOD (Main-d'Oeuvre Directe), reposant sur le critère de Coût. Cette performance s'est alors déployée à la fois en interne et en externe, étendant d'une part la productivité à l'ensemble des facteurs de production, et intégrant d'autre part les notions de compétitivité et de satisfaction client, et ce, par la prise en compte de critères de Qualité et de Délai.

Tableau 1 Déploiement classique de la performance [Jacot et Micaelli, 1996]

niveau de décision	niveau de performance	objectifs et critères usuels	nouveaux objectifs et critères
Métropolitaine finalité de l'entreprise	Sociétal	Performance interne de l'entreprise	Performance externe de l'entreprise
Stratégique objectifs pour le système de production	Financier	Rentabilité des capitaux	Pérennité de l'entreprise
Tactique fonctionnalités pour le système de production	Marchand/Commercial	Compétitivité prix	Compétitivité hors prix approche par processus
Opérationnel solutions techniques et organisationnelles	Physique	Productivité partielle du travail	Productivité globale

Plus précisément, si la période des trente glorieuses avait associé la performance de ces systèmes au concept d'efficacité et avait installé les objectifs de productivité rattachés au Coût, celle qui lui a succédé aura étendu la notion de performance au couple (efficacité, efficience). L'efficacité prend en compte la manière dont tout objectif, au-delà de celui de productivité, est atteint. La dimension multicritère de la performance avait alors été mise en avant, en adjoignant au critère Coût la Qualité puis le Délai. On parlait alors d'efficacité, *i.e.* «atteindre les objectifs de qualité et de délai», sous une contrainte d'efficience, *i.e.* «optimiser le rendement». Aujourd'hui encore, un système de production est conventionnellement jugé performant s'il satisfait au triptyque C-Q-D [Ducq et al., 2001]. Fournir aux moindres Coûts des produits de Qualité et ce, dans les meilleurs Délais reste la stratégie communément adoptée. Le contrôle de gestion, initialement conçu pour les évaluations financières et les vérifications *a posteriori* [Anthony, 1965], avait à son tour été enrichi par des approches de pilotage *a priori*, pour des évaluations technico-économiques, rattachées à des critères autres que le Coût [Brimson, 1991]. On parlait alors de *contrôle* à long terme, par le contrôle de gestion et de *pilotage réactif* à court et moyen termes, par la mise en place de Systèmes d'Indicateurs de Performance et de tableaux de bord opérationnels [Neely et al., 1995] [ISO 22400, 2014]. Naturellement, au fur et à mesure des évolutions de l'offre technologique, des stratégies concurrentielles et des exigences clients, les systèmes de production se sont complexifiés. Les facteurs de performance se sont étendus et les interactions entre eux ont augmenté. Des règles permettant une réaction aux événements survenus ont été intégrées aux règles de pilotage préétablies, laissant place à un besoin d'aide à la décision pour la détermination des solutions adéquates dans un contexte assumé incertain. De nouvelles stratégies ont été mises en avant et le triptyque C-Q-D s'est enrichi, en intégrant de plus en plus de sous-critères. En l'occurrence, la Qualité n'a plus seulement concerné le produit fini, le Coût la production, et le Délai, la mise à disposition. Les Systèmes d'Indicateurs de Performance ont tenté dans ce sens d'embrasser à la fois la complexité des nouveaux systèmes de production et celle des interactions entre

les différents critères, introduisant de nouveaux critères internes, tels que la réactivité, la flexibilité ou la fiabilité [Ghalayini et al., 1997]. Des considérations telles que celles d'appartenir à une chaîne logistique [Mishra et al., 2018], de répondre à des objectifs de Développement Durable [Gasparatos et al., 2009] ou plus récemment de s'inscrire dans la logique de digitalisation actuelle [Shah et al., 2020] [Tobon Valencia et al., 2020] sont des illustrations de telles évolutions. Comme évoqué précédemment, les changements observés dans ce dernier cas sont particulièrement majeurs et parfois non maîtrisés.

Au-delà de cette recherche d'adaptation des cadres d'expression de la performance et de pilotage de systèmes de production aux évolutions du contexte, il est légitime d'avoir une autre forme d'analyse et de réfléchir au bien-fondé de ces cadres, tant dans leur définition que dans leurs évolutions.

3.2 Efficience, Efficacité et Effectivité

Comme la performance s'est déployée en fonction de multiples critères, elle s'est fondée sur le postulat de devoir vérifier trois conditions afin de pouvoir continuer à garantir la pérennité de l'entreprise. Ces conditions sont respectivement [Gilbert et al., 1980] [Neely et al., 1996] (Figure 2) :

- l'efficience du système élargi aux activités périphériques à la production ;
- l'efficacité des processus mis en œuvre pour l'atteinte des objectifs ;
- l'effectivité des objectifs au regard des moyens disponibles.

Bon nombre de réflexions ont été menées autour des notions d'efficacité et d'efficience, confondant parfois l'une et l'autre, au vu de leur anglicisation (*effectiveness* ou *efficiency* pour efficacité) [Kanigel, 2005], et de leur rattachement toutes deux à l'atteinte d'objectifs associés au système de production. Pour sa part l'effectivité connaît une définition unanime de pertinence (autre synonyme trouvé dans la littérature) de ces objectifs [Wisner et Fawcett, 1991], avec une nuance toutefois dans la portée de ces objectifs : opérationnels [Bescos 1995], *i.e.* locaux au système considéré ou stratégiques, *i.e.* globaux à l'ensemble de l'entreprise [Le Moigne 1990].

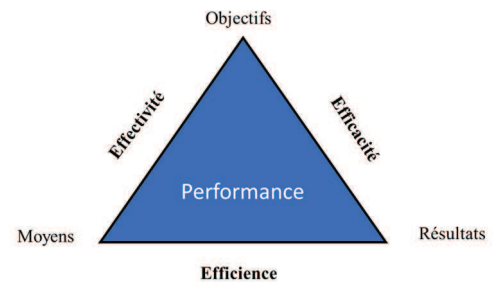


Figure 2. Le triangle de la performance 3.0 [Gilbert et al., 1980]

La performance se définissait ainsi par : de l'efficacité dans l'atteinte des objectifs, dans une utilisation efficiente des moyens disponibles, sous réserve d'effectivité de ces objectifs pour le système en matière de moyens utilisés. Comme évoqué précédemment, si, de par l'Histoire, la performance industrielle a intégré les facettes d'efficacité et d'efficience, la prise en compte de la facette d'effectivité s'est essentiellement inscrite dans une vision d'adaptation des moyens aux objectifs. En effet, préoccupation stratégique, l'effectivité est allée dans le sens d'une maximisation de l'atteinte des objectifs, dans la mesure où ces derniers découlaient de l'unique objectif de rentabilité et que celle-ci garantissait la pérennité de l'entreprise. Les objectifs n'étaient par conséquent pas reconsidérés et les pratiques n'étaient pas appelées à être modifiées, si ce n'est pour

une recherche d'augmentation de la rentabilité. De ce fait, la maximisation de l'efficacité ainsi que celle de l'efficience ont fait l'objet de bon nombre de développements, tant au niveau des modèles de pilotage que des modèles d'évaluation de la performance [Globerson, 1985] [Lorino, 1996] [Nudurupati et al., 2011]. Les plans d'action, inscrits dans une dynamique d'amélioration continue, étaient centrés sur cette maximisation [Imai, 1992]. C'est le sens du *Lean Manufacturing* qui, s'inspirant des principes du *Toyota Production System* [Womack et al., 1990] [Ono, 1988] peut être décrit par le passage d'une logique de rentabilité financière à court terme (que l'on peut décrire sous la forme «*Maximum gain with minimal capital investment*») à une logique d'optimisation de l'efficience à long terme (que l'on peut décrire sous la forme «*Maximum added value with a minimal use of all resources*»). Une performance à tout instant, conformément à ce modèle préétabli, est ainsi, à son tour, implicitement devenue synonyme d'une performance continue. Dès lors que cette équation ne s'est plus avérée, des remises en cause ont commencé à être envisagées et la question de l'effectivité, du point de vue de la remise en cause des objectifs a alors commencé à se poser.

3.3 Prise en compte de l'effectivité : une condition suffisante ?

Le besoin de parer aux urgences, changements, opportunités et incertitudes de l'environnement a ainsi parfois induit une sorte d'identification de la notion de réactivité à des réponses immédiates dont les retombées ne peuvent toujours être prises en compte. Ce constat s'est exacerbé dans le cas du fonctionnement non systématiquement prévisible des systèmes de production de l'Industrie 4.0. L'amélioration à court terme de la performance peut en effet dans de tels cas ne pas garantir la performance, globale et à long terme. Inscrire la performance dès lors sous une contrainte d'effectivité qui amène *stricto sensu* à veiller à ce que les moyens du système aillent dans le sens des objectifs peut ne fournir que des garanties partielles. Cette condition, établie à l'ère de l'Industrie 3.0, ne sera en effet suffisante que si en premier le comportement des moyens est connu et maîtrisé, même si cette question de ne considérer les objectifs qu'en fonction des moyens avait déjà été soulevée [Le Moigne, 1990]. De plus, telle qu'elle a été établie, l'effectivité avait pour objet de continuer à véhiculer la stratégie et les objectifs globaux de l'entreprise. Ne pouvaient être remise en cause que la tactique pour les atteindre, soit leur déploiement en objectifs tactico-opérationnels. Cette condition trouve aujourd'hui ses limites au vu notamment des restrictions liées aux problématiques de limitation des ressources et de la logique d'associer de nouveaux objectifs à de nouveaux systèmes.

La pérennité de l'entreprise ne pouvant donc être restreinte à sa dimension financière, il est important aujourd'hui d'étendre la mise en œuvre de cette notion d'effectivité à des dispositifs qui permettent cette pérennité. La question de l'effectivité doit en effet se poser en termes conjoints d'objectifs et de moyens et la performance doit aller au-delà de la rentabilité. L'effectivité peut alors s'appuyer sur des démarches permettant une approche globale allant au-delà d'un seul critère, quel que soit son importance, et tenant compte des changements possibles des moyens alloués pour satisfaire à ce critère. Certaines approches prônant cette vision ont d'ores et déjà été mises en œuvre, en l'occurrence les démarches de Développement Durable [Sikdar, 2003], les démarches de RSE [ISO 26000, 2008], d'économie circulaire [Rosa et al., 2019] ou de gouvernance globale [GRI, 2020] Les critères considérés dans ces approches viennent rectifier la focalisation sur le critère financier en lui associant les critères environnementaux et de plus en plus les critères

sociétaux. En revanche, la question de la prise en compte du comportement des systèmes reste posée.

3.4 Vers la considération de l'éthique en performance

Dans cette optique, la définition de la performance doit évoluer afin de prendre en compte la pérennité du système, en particulier quand celui-ci intègre des entités autonomes aux comportements non tous prévisibles. Cette démarche prônant une vision juste et globale peut trouver écho dans la notion d'éthique. De par sa définition et son intégration dans les démarches RSE, le cadre que le concept d'éthique propose et ses applications dans des domaines proches de celui du secteur industriel, semble répondre au besoin identifié. Le triangle (efficience, efficacité, effectivité) décrit Figure 2 s'enrichit alors d'une dimension supplémentaire, inhérente à l'éthique. Trois conditions de conformité, des notions respectives d'objectifs, moyens et résultats viennent compléter les conditions établies sur leurs associations, deux à deux. La figure 3 représente cette vision complétée de la performance dont la définition évoluerait dans ce sens et deviendrait :

L'efficacité dans l'atteinte d'objectifs éthiques, dans une utilisation efficiente et éthique des moyens disponibles, sous réserve de pertinence de ces objectifs et du système en matière de moyens utilisés et d'éthique des résultats obtenus.

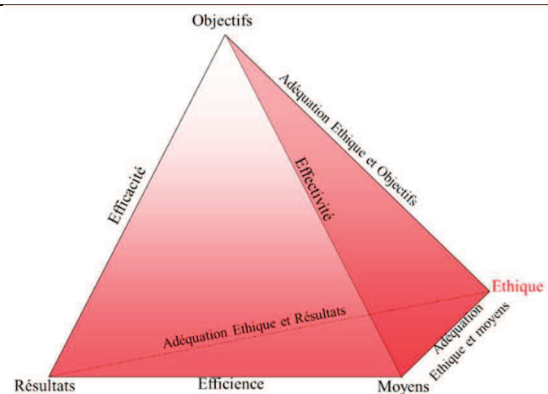


Figure 3. Le tétraèdre de la performance

Au-delà de porter sur les objectifs, les moyens et les résultats, l'éthique porte sur les relations entre eux, au travers des trois notions usuelles de la performance (efficacité, efficience et effectivité). Ainsi, les facettes décrivant les différentes relations entre l'éthique et ces notions sont représentées par les différentes surfaces du tétraèdre. Pour le triplet Objectifs-Moyens-Ethique par exemple, qui traite de la relation entre l'effectivité et l'éthique, l'idée est de fixer des objectifs atteignables sachant les moyens disponibles et aussi une utilisation éthique de ces moyens. Des conditions similaires se posent pour les trois autres surfaces associées aux trois autres triplets. Le tableau 2 contient des exemples de questionnements et illustrations selon la relation étudiée entre l'éthique et les différents concepts historiques de la performance.

Tableau 2. Tétraèdre de la performance : exemples de questionnement

Adéquation entre éthique et...	Exemples de questionnement	Illustrations
Objectifs (axe OE)	Les objectifs assignés sont-ils éthiques ?	Imposition d'un objectif ayant un impact social négatif
Résultats (axe RE)	Les résultats mesurés ou obtenus le sont-ils de manière éthique ?	Utilisation de données personnelles des opérateurs 4.0
Moyens (axe ME)	Les moyens sont-ils utilisés ou définis de manière éthique ?	Morceler les responsabilités pour limiter les salaires

Efficacité (plan ORE)	La mise en relation entre les objectifs et les résultats est-elle faite de manière éthique ?	Triche, cyber-espionnage ou mensonge sur l'atteinte des objectifs
Efficiéce (plan MRE)	La mise en relation entre les moyens et les résultats est-elle faite de manière éthique ?	Remplacement systématique de l'Homme par un robot autonome
Effectivité (plan MOE)	La mise en relation entre les moyens et les objectifs est-elle faite de manière éthique ?	Imposition volontaire d'un objectif inatteignable pour pousser à la faute

Si l'application de ce modèle se veut indépendante de tout contexte, son illustration se fera dans le contexte de l'Industrie 4.0. C'est dans ce sens que la section suivante décrit plus en détail les relations entre la notion d'éthique et celle de la performance dans le contexte de l'Industrie 4.0.

4 PERFORMANCE ETHIQUE ET DANS L'INDUSTRIE 4.0

4.1 Enjeux éthiques de l'Industrie 4.0

Portée par des disciplines telles que la philosophie, le droit, les sciences humaines et sociales de manière plus générale, l'éthique a suscité bon nombre de réflexions tant dans la recherche d'une définition la plus juste que dans les moyens de la mettre en œuvre. Globalement, le comportement d'une entité est éthique du point de vue d'un système, d'une société, s'il véhicule équité et morale tout en s'alignant sur les valeurs et la culture du système, de la société, considérés [Morahan, 2015]. Plusieurs paradigmes sont développés dans le cadre de la recherche d'un comportement éthique. Si l'on s'intéresse aux paradigmes facilement appropriables par le chercheur en ingénierie technique, il est alors possible d'identifier [Trentesaux et Caillaud, 2020] :

- la *déontologie* qui se conçoit au travers du respect d'un certain nombre de règles immuables, que l'on applique dans n'importe quelle situation ;
- le *conséquentialisme* qui se conçoit au travers de l'étude des conséquences d'actions possibles sur des valeurs éthiques.

Dans leur analyse concernant l'éthique dans le cadre de l'Industrie 4.0, [Pacaux-Lemoine et Trentesaux, 2019] mettent en avant l'importance de réfléchir à l'éthique rattachée au fonctionnement de l'ensemble des entités intelligentes qui y sont impliquées, qu'elles soient de nature humaine ou digitale (par exemple, Intelligence Artificielle), si elles présentent un certain degré d'autonomie décisionnelle. La spécificité du concept Industrie 4.0 par rapport à celui d'Industrie 3.0 est ainsi relative à la difficulté, *via* une agrégation de technologies digitales variées et à fort potentiel d'utilisation, de comprendre, prédire et garantir le comportement de ces entités en particulier sur le volet éthique. Pour l'équipe, il s'agit de considérer le comportement de ces entités à la fois lorsqu'elles fonctionnent en autonomie et lorsqu'elles fonctionnent en interaction avec les Hommes. Les auteurs décrivent les enjeux liés à ces technologies et prônent par exemple le recours au paradigme conséquentialiste dans le cas où une forte incertitude sur les comportements de ces dernières est présente, ou l'impact de leur fonctionnement sur l'environnement est mal connu. Typiquement, dans ce dernier cas, aucun objectif ne peut être explicitement associé aux entités considérées, ces dernières échapperont donc à toute mesure et toute action pour y pallier, si ce n'est éventuellement en termes de risque à minimiser. Dans de tels cas, les trois postulats inhérents à la performance trouvent leurs limites, comme illustré par le cas d'étude décrit dans la partie suivante.

4.2 Transition vers l'Industrie 4.0 et enjeux éthiques : étude de cas industriel

Filiale de la NTN Corporation, la société NTN-SNR Roulements est l'un des leaders mondiaux en tant que concepteur, développeur et fabricant de roulements. Réalisant un Chiffre d'Affaires de 6 Milliards d'Euros en 2019, l'entreprise est présente sur les marchés de l'automobile, du ferroviaire, des énergies renouvelables et de l'aéronautique. NTN-SNR Roulements emploie environ 6 000 personnes principalement en Europe et compte 13 sites de production, dont 7 en France. En particulier, le site spécialisé dans l'aéronautique bénéficie depuis 2015 d'investissements importants pour digitaliser la production, conformément aux principes du 4.0. Dans ce cadre, le projet « *Digital Manufacturing* » a été mis en œuvre. Il concerne le système de production dédié aux roulements du nouveau moteur LEAP destiné aux nouvelles générations de moyen-courriers tels que l'Airbus a320neo et le Boeing 737Max. Ce projet a donné la priorité à la mise en place d'une solution MES (*Manufacturing Execution System*) pour d'une part, répondre rapidement aux attentes des clients en matière de traçabilité produit-process, et d'autre part, mettre en place les tableaux de bord opérationnels permettant le pilotage des postes de production [Clivillé et al., 2019]. Il s'agit de mettre à disposition les données de production qui, combinées aux données commerciales, financières et humaines, permettront de proposer de nouvelles utilisations (Réalité augmentée, *Simulation*, *Cloud Computing*, Intelligence Artificielle) dans un cadre sécurisé (*Cyber Security*).

Les premiers résultats du projet ont été encourageants. L'entreprise a constaté que :

- la traçabilité s'était nettement améliorée et permettait de désormais répondre aux exigences des équipementiers ;
- les tableaux de bord étaient déployés sur l'ensemble des postes de production.

Le projet se poursuit actuellement par le déploiement successif des différents piliers de l'Industrie 4.0 (cf. Figure 1) ; ce qui vient transformer en profondeur le système et son usage. Par l'introduction des technologies proposées (*Big Data*, *IoT*, *System integration*, *Cyber-Physical Systems*), l'entreprise a pour but de rendre le système de production intelligent, afin de mieux répondre aux besoins du client, analyser et améliorer la performance, développer des approvisionnements parcimonieux et durables, rendre l'entreprise plus agile, etc. Cependant, au fur et à mesure de ces transformations, l'entreprise a pris conscience de l'importance de la dimension humaine, paradoxalement apparue comme essentielle pour maîtriser le déploiement et l'utilisation des technologies du 4.0. Ainsi, l'abandon de tâches à faible valeur ajoutée comme le *reporting* des données de production et la montée en expertise en termes de qualité et de gestion de flux au service d'un pilotage plus autonome bouleversent le rôle traditionnel des opérateurs de production. Il s'agit désormais de maîtriser les outils numériques et d'être partenaires de leur développement pour « customiser » le MES en fonction des besoins de chaque poste. La structure de pilotage est remise en cause par cette autonomie permise par la mise à disposition des Indicateurs de Performance directement actualisés par le système d'information sur les postes de travail, sans l'intervention d'échelons intermédiaires comme les chefs d'équipe.

Les questions posées par cette transition sont multiples et si les opportunités qu'elle offre sont de mieux en mieux connues, les risques associés se dévoilent progressivement. Dans ce sens, l'entreprise ressent le besoin de compléter sa vision traditionnelle de la performance (conforme à la Figure 2), où les

objectifs sont régulièrement reconsidérés à la hausse, les résultats sont analysés dans ce sens, et les moyens sont alloués en fonction des résultats et des nouvelles valeurs à atteindre. A ce titre, l'entreprise se définit une nouvelle nature d'objectifs qu'elle formule au travers d'un certain nombre d'actions :

- repenser les missions affectées aux opérateurs, et définir les nouvelles fiches de description du poste ;
- définir les nouvelles responsabilités au sein d'une structure de pilotage moins hiérarchisée et plus coordonnée ;
- définir un protocole d'accompagnement (*coaching*) des opérateurs en complément des écrans de supervision associés à leur travail ;
- reconsidérer son modèle de pilotage en adoptant une philosophie proche de celle du Tableau de Bord Prospectif (BSC) [Kaplan et Norton, 1992], où chaque centre de décision de la structure de pilotage dispose d'informations établies de façon cohérente sur tous les niveaux de décision ;
- établir sur cette base pour chaque poste, un modèle de simulation en temps réel des impacts locaux et globaux des décisions opérationnelles.

Pour mener à bien ce projet, l'entreprise connaît bien sûr les lois et règlements à respecter telles le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) [RGDP 2020]. Mais plutôt que de les subir comme des contraintes, elle veut miser sur le développement humain en réinterprétant la définition de Ricoeur par « *une activité professionnelle heureuse, avec et pour autrui, dans une entreprise juste* ». Elle souhaite définir ses objectifs, évaluer ses résultats et allouer ses moyens dans cette vision éthique de la performance.

Tentons maintenant d'éclairer cette volonté de l'entreprise en questionnant le tétraèdre proposé en section 3.4 sur la considération de l'éthique dans la définition de la performance de l'entreprise au travers de deux exemples (Tableau 3). Considérons le triplet Objectifs-Moyens-Ethique. Pour atteindre l'objectif lié à la « Traçabilité Produits-Process », l'entreprise ajoute un nouveau composant de son système d'information dont elle sait qu'il autorisera également la traçabilité des opérateurs et plus généralement la disponibilité des personnels (logistique interne, qualité, maintenance...) impliqués. Pour éviter un détournement des données recueillies et stockées, l'entreprise doit encadrer les possibilités d'analyse et les restitutions qui en sont faites hors du pilotage de la production, en stipulant par exemple que la personne concernée devra être informée et consultée pour les utilisations potentielles en ce qui concerne la gestion des ressources humaines.

Considérons cette fois le triplet Objectifs-Résultats-Ethique en retenant l'objectif lié à la « Mise en place des tableaux de bord opérationnels ». Les changements induits par la pratique du MES dans la structure de pilotage, augmentation des responsabilités du niveau opérationnel, simplification de la hiérarchie, renforcement de l'autonomie mais aussi du risque d'isolement, sont importants. Sont-ils justes pour les opérateurs qui voient leurs compétences s'élargir en même temps qu'augmentent leurs responsabilités ? Sont-ils justes pour les chefs d'équipe qui voient une part importante de leurs missions devenir caduques et qui doivent se réinventer un nouveau rôle à la frontière entre hiérarchie et support ? Consciente de l'importance de la considération de ces aspects pour sa pérennité et des limites actuelles de ses compétences dans ce domaine, l'entreprise envisage la création d'un groupe de réflexion sur le sujet, afin de systématiser la prise en compte de considérations éthiques dans son modèle de performance.

Tableau 3. Quelques questionnements (étude de cas industriel)

Adéquation entre éthique et...	Questionnement de l'industriel
Objectifs (axe OE)	Fixer un objectif de réactivité difficilement atteignable par un opérateur est-il éthique ?
Résultats (axe RE)	Est-il bon d'atteindre une traçabilité de 100% sur les produits et de 90% sur les processus quand il existe un risque de voir cette traçabilité mesurée pour l'Homme ?
Efficience (plan MRE)	Comment empêcher, voire interdire, que les données permettant de tracer produits et processus ne servent à tracer les opérateurs et plus généralement mesurer la réactivité-disponibilité et la valeur ajoutée des personnels supports comme la logistique, la qualité, la maintenance ?
Effectivité (plan MOE)	Est-il juste de demander aux opérateurs <i>via</i> un MES de prendre des décisions en autonomie sans les former et en les mettant en situation d'isolement au risque de faire peser sur leurs épaules une pression inconnue auparavant ?

4.3 Discussion

La mise en œuvre d'un déploiement de la performance fondé sur la vision et la définition proposées précédemment ouvre le débat sur bon nombre de points. Du point de vue industriel, l'idée retenue est de parvenir à « borner » aussi bien les actions sur les moyens que les objectifs assignés de sorte à garantir l'éthique. L'éthique devient ainsi une condition à satisfaire au fur et à mesure du pilotage des systèmes de production. Et la satisfaction de cette condition serait à planifier tout comme les autres objectifs.

Le positionnement du concept d'éthique par rapport à la RSE reste de notre point de vue insuffisant. Au sens RSE, l'éthique relève essentiellement du volet financier (paradis fiscaux, emploi de main d'œuvre jeune et conditions d'emploi, etc.). L'éthique au sens de la RSE concerne également le comportement des employés mais suggère l'alignement de leur éthique avec la recherche de la pérennité de l'entreprise (j'aide mes collaborateurs à progresser, etc.). Cependant, même si l'on comprend que la finalité d'une entreprise reste et restera de générer du profit, on peut comprendre que l'éthique des employés vis-à-vis de l'entreprise peut ne pas être jugée suffisante si on tient compte des enjeux sociétaux et du monde qui entoure ces entreprises. En ce sens, l'éthique doit également, de notre point de vue, intégrer le Développement Durable, de par, pour le moins, son pilier relatif à la société. De ce fait, il est possible d'imaginer le dilemme d'un employé qui, afin d'être éthique vis-à-vis de la société, contrevient à la recherche de pérennité de son entreprise (par exemple un lanceur d'alerte dans les domaines environnementaux ou de la protection de données).

D'un point de vue méthodologique, le déploiement de la performance en appellera à considérer deux points de vue du système, le point de vue physique/opérant et le point de vue décisionnel. L'éthique serait à associer de ce fait au comportement de tous les éléments du système, en particulier ses parties autonomes et intelligentes. Cette association aura à être effectuée en cohérence avec le modèle décisionnel de l'entreprise. En particulier, il pourrait être imaginé que la question de l'adéquation efficacité-éthique soit posée dès le niveau stratégique, celle de l'adéquation efficacité-éthique dès le niveau tactique alors que celle de l'adéquation efficacité-éthique relève du niveau opérationnel. Des questions peuvent être alors posées sur les décideurs à même d'opérer cette intégration de l'éthique. De même, les aspects à prendre en compte du fait de la considération de l'éthique peuvent à leur tour soulever des questions en termes de caractérisation. Dans le contexte de l'Industrie 4.0, la compétence d'un opérateur vis-à-vis de son remplacement par un Système Intelligent ou

l'autonomie d'un opérateur par exemple auront besoin d'être caractérisées, aussi bien par des objectifs que par des mesures. Par ailleurs, en présence de comportements dont les conséquences sont mal connues, il sera nécessaire de recourir à des dispositifs de simulation permettant d'envisager d'une part les différents scénarii, d'en évaluer d'autre part les conséquences et de capitaliser les informations obtenues. D'un point de vue technique, étant donné la complexité induite par le contexte de l'Industrie 4.0, le recours aux outils de la simulation permettra de tester différentes alternatives (décisions) avant d'appliquer une décision pour tester l'impact sur la performance éthique (approche de type *what-if?*). Les avancées dans les développements relatifs au concept de jumeau numérique le permettent, tout comme la démocratisation des *serious games* permettant de simuler différentes organisations candidates pour une entreprise ou même des procès fictifs permettant d'assigner les responsabilités juridiques ou éthiques soit aux hommes, soit aux entités artificielles et intelligentes [Mucchieli, 2018]. Cependant, il restera à déterminer des Indicateurs de Performance quantifiables dans ce contexte et c'est certainement l'un des aspects les plus délicats à traiter. Comment mesurer et comparer deux alternatives ou deux situations selon un angle éthique ? Comment diagnostiquer une situation selon un angle d'analyse en lien avec l'éthique ? Les concepts de base de la performance disposent de mesures (valeur monétaire, temporelle, etc.) et d'outils de diagnostic mais comment construire une mesure de l'éthique ou établir un degré « d'éthicalité » et l'expliquer ? Bien qu'une mesure absolue nous semble difficile, il est raisonnable de penser qu'au cas par cas, selon la culture d'entreprise ou l'environnement social, certains indicateurs puissent contribuer à une mesure plus relative et plus ou moins consensuelle. Par exemple, une mesure du bien-être social par un questionnaire, une mesure de l'adéquation travail/salaire, une enquête sur l'impact social d'une entreprise, une capacité à recruter les jeunes générations attentives aux évolutions sociétales, etc. permettent une évaluation, certes indirecte, de ce degré « d'éthicalité ». Dans tous les cas, il ne sera pas possible d'atteindre « l'excellence éthique industrielle » du premier coup et une démarche itérative s'imposera d'elle-même [Berrah et Trentesaux, 2020]. Enfin, considérer l'éthique dans le modèle de performance est naturellement indépendant de son contexte d'application. L'approche proposée pourra dans ce sens bénéficier des développements proposés dans le cadre des philosophies voisines citées précédemment.

5 CONCLUSION

La performance industrielle a connu une évolution majeure dans son passage d'une recherche d'optimisation fondée sur une simple diminution des coûts de production à une recherche d'optimisation associant aux coûts des aspects techniques permettant à l'entreprise à la fois d'intégrer les notions relatives à la satisfaction des clients et d'occuper une position concurrentielle avantageuse. Le modèle d'efficacité s'était alors élargi à celui du couple (efficacité, efficacité) auquel s'était greffée la notion d'effectivité, pour veiller à l'équilibre entre la déclaration des objectifs et l'utilisation des moyens pour les atteindre. Par l'avènement des Systèmes Autonomes et Intelligents, la digitalisation des activités de production et la profusion des données, l'Industrie 4.0 vient marquer l'évolution de la performance par la nécessité de prendre en compte les nouvelles caractéristiques des systèmes de production. Le bien-fondé du modèle (efficacité, efficacité, effectivité) établi jusqu'alors peut en effet être questionné, dans sa capacité de prendre en compte l'incertitude du comportement des Systèmes

Intelligents ainsi que les conséquences d'une digitalisation qui permet certes d'augmenter l'efficacité et l'efficience des systèmes mais qui peut avoir des effets négatifs par ailleurs. Cet article a traité de la question de l'intégration de l'éthique dans le modèle de performance. Une extension du triangle (efficacité, efficacité, effectivité) à un tétraèdre permettant de considérer l'adéquation de ces trois notions usuelles aux valeurs éthiques a été proposée. Une étude de cas (équipementier aéronautique) a été décrite pour étayer les propos. Une analyse des conséquences de la digitalisation de ses activités a permis d'enrichir les réflexions sur les bases d'un modèle de performance 4.0. Même si l'éthique peut sembler duale avec la notion de performance industrielle, dans sa part taylorienne et « courttermiste », elle lui promet un fondement pérenne.

6 REMERCIEMENTS

Certains éléments présentés ont été discutés à l'occasion d'un exposé au groupe de travail SIMPA de la SAGIP du 4 décembre 2020. Les auteurs remercient les animateurs et membres de ce groupe pour les échanges qui ont conduit à enrichir cet article.

7 REFERENCES

- Anthony, R. N. (1965). *Planning and Control Systems : A Framework for Analysis*. Graduate School of Business Administration, Harvard University Press.
- Berrah, L., & Trentesaux, D. (2020). *Decision-Making in Future Industrial Systems: Is Ethics a New Performance Indicator? 10th Workshop on Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems, for Industry of the Future, Studies in Computational Intelligence*, Paris, France, 1-2 octobre 2020.
- Bescos P.L., Dobler P., Mendoza C., Naulleau G. (1995), *Contrôle de gestion et management*, Montchrestien.
- Boisvert, H. (1995). *Comprendre, mesurer et gérer la productivité, la comptabilité par activités*. Congrès international de Génie industriel de Montréal: la productivité dans un monde sans frontières, Montréal, Canada, 18-20 octobre, 835-844.
- Brimson, J. A. (1991). *Activity Accounting : An Activity-Based Costing Approach* (John Wiley&sons).
- Burritt, R., & Christ, K. (2016). *Industry 4.0 and environmental accounting : A new revolution? Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility*, 1(1), 23-38.
- Clivillé, V., Berrah, L., Foulloy, L., & Chapel, C. (2019). *Mise en place du MES: Le témoignage d'un fournisseur aéronautique*. CIGI QUALITA 2019: 13ème Congrès International de Génie Industriel et Qualita, Montreal, Canada, 25-28 juin.
- Ducq, Y., Vallespir, B., & Doumeingts, G. (2001). *Coherence analysis methods for production systems by performance aggregation*. *International Journal of Production Economics*, 69(1), 23-37.
- Fettig, K., Gacic, T., Koskal, A., Kuhn, A., & Stuber, F. (2018). *Impact of Industry 4.0 on Organizational Structures*. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Stuttgart, Allemagne, 17-20 juin.
- Gasparatos, A., El-Haram, M., & Horner, M. (2009). *The argument against a reductionist approach for measuring sustainable development performance and the need for methodological pluralism*. *Accounting Forum*, 33(3), 245-256.

- Ghalayini, A. M., Noble, J. S., & Crowe, T. J. (1997). An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness. *International Journal of Production Economics*, 48(3), 207-225.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936.
- Gilbert, G. R., Collins, R. W., & Brenner, R. (1980). Age and leadership effectiveness: From the perceptions of the follower. *Human Resource Management*, 29(2), 187-196.
- Globerson, S. (1985). Issues in developing a performance criteria system for an organization. *International Journal of Production Research*, 23(4), 639-646.
- GRI. (2020). Standards. <https://www.globalreporting.org/standards/>
- Imai, M. (1992). *Kaizen: La clé de la compétitivité japonaise*. Eyrolles.
- ISO 22400. (2014). Automation systems and integration- Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management.
- ISO 26000. (2008). Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale. AFNOR.
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.
- Jacot, J. H., & Micaelli, J. P. (1996). La question de la performance globale, dans *La performance économique en entreprise*. J.H. Jacot et J.P. Micaelli (eds).
- Johnson, H. T. (1975). Management Accounting in an Early Integrated Industrial: E. I. duPont de Nemours Powder Company, 1903-1912*. *Business History Review*, 49(2), 184-204.
- Kanigel, R. (2005). *The One Best Way*. The MIT Press.
- 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.
- Kaplan, R., & Norton, D. (1992,1). *The Balanced Scorecard: Measures that Drive Performance*. Harvard Business Review.
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod.
- Lorino, P. (1996). *Méthodes et pratiques de la performance*. Éditions d'Organisation.
- Mishra, D., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., & Dubey, R. (2018). Supply chain performance measures and metrics: A bibliometric study. *Benchmarking: An International Journal*, 25(3), 932-967.
- Morahan, M. (2015). Ethics in management. *IEEE Engineering Management Review*, 43(4), 23-25.
- Mucchieli, J. (2018). Procès du carambolage du siècle: « L'intelligence artificielle a-t-elle une éthique? » Dalloz actualités, accessible en ligne <https://www.dalloz-actualite.fr/flash/proces-du-carambolage-du-siecle-l-intelligence-artificielle-t-elle-une-ethique#.X85dARJCdEa>. https://www.dalloz-actualite.fr/flash/proces-du-carambolage-du-siecle-l-intelligence-artificielle-t-elle-une-ethique#.X8_k9BfZCb_
- Neely, A., Mills, J., Platts, K., Gregory, M., & Richards, H. (1996). Performance measurement system design: Should process based approaches be adopted? *International Journal of Production Economics*, 46-47, 423-431.
- Neely, Andy, Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80-116.
- Nudurupati, S. S., Bititci, U. S., Kumar, V., & Chan, F. T. S. (2011). State of the art literature review on performance measurement. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2), 279-290.
- Ono, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (productivity press). CRC Press.
- Pacaux-Lemoine, M. P., & Trentesaux, D. (2019). Ethical risks of human-machine symbiosis in Industry 4.0: Insights from the human-machine cooperation approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 19-24.
- Popova, V., & Sharpanskykh, A. (2010). Modeling organizational performance indicators. *Information Systems*, 35(4), 505-527.
- RGPD. (2020). Le règlement général sur la protection des données (RGPD), mode d'emploi, accessible sur: <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/reglement-general-sur-protection-des-donnees-rgpd>.
- Ricoeur, P. (1990). *Soi-même comme un autre*, Editions Seuil.
- Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117696.
- Saturno, M., Pertel, V. M., Deschamps, F., & Loures, E. (2017). Proposal of an automation solutions architecture for Industry 4.0. *Transactions on Engineering and Technology Research*. 24th International conference on production research, ICPR 2017, Poznan, Poland, 30 July-3 August.
- Shah, L. A., Amjad, F., & Vernadat, F. (2020). Framework of performance measurement and management for Industry 4.0 era. 13th Conference on Modeling, Optimization and Simulation, MOSIM 2020, Agadir, Maroc, 12-14 novembre.
- Sikdar, S. K. (2003). Sustainable development and sustainability metrics. *AIChE Journal*, 49(8), 1928-1932.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. New York, London, Harper & Brothers.
- Tobon Valencia, E., Lamouri, S., Pellerin, R., & Moeuf, A. (2020). Modélisation du programme directeur de production en vue de la transition numérique des PME manufacturières. 13th Conference on Modeling, Optimization and Simulation, MOSIM 2020, Agadir, Maroc, 12-14 novembre.
- Trentesaux, D., & Caillaud, E. (2020). Ethical stakes of Industry 4.0. *IFAC World Congress*, 11-17 juillet.
- Wisner, J. D., & Fawcett, S. E. (1991). Link Firm Strategy to Operating Decisions Through Performance Measurement. *Production and Inventory Management Journal*. Third quarter, 5-11.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *Machine That Changed the World*. Free Press, New York.