



PORTRAIT CONCEPTUEL DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Thomas A Hernández, Nadia Lehoux, Louis Gosselin

► To cite this version:

Thomas A Hernández, Nadia Lehoux, Louis Gosselin. PORTRAIT CONCEPTUEL DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION. 13ème CONFERENCE INTERNATIONALE DE MODELISATION, OPTIMISATION ET SIMULATION (MOSIM2020), Nov 2020, AGADIR (virtuel), Maroc. hal-03177561

HAL Id: hal-03177561

<https://hal.science/hal-03177561>

Submitted on 23 Mar 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.

PORTRAIT CONCEPTUEL DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Thomas A. HERNÁNDEZ, Nadia LEHOUX, Louis GOSSELIN

Département de génie mécanique, Université Laval, Québec, Québec, Canada
thomas-antonio.hernandez-gutierrez.1@ulaval.ca, Nadia.Lehoux@gmc.ulaval.ca, Louis.Gosselin@gmc.ulaval.ca

RÉSUMÉ : *Pour faire face aux problèmes énergétiques industriels actuels qui prennent de plus en plus d'importance, les organisations doivent définir des stratégies énergétiques propulsant l'industrie vers un développement plus durable. Dans ce contexte, la mise en œuvre d'un système de gestion de l'énergie permet non seulement de réduire les coûts, mais aussi de protéger l'environnement, de préserver les ressources et de réduire l'empreinte carbone. Cet article relie à travers une image conceptuelle, les principaux axes de référence de la gestion de l'énergie trouvés dans la littérature. Une revue de la littérature a d'abord permis de déterminer qu'un système de gestion de l'énergie se base sur trois aspects primordiaux : le niveau de maturité énergétique d'une entreprise, la structure organisationnelle qui soutient l'implantation du système énergétique et les phases nécessaires pour gérer la performance énergétique des systèmes de production. Le regroupement de tous ces éléments a ensuite permis d'analyser leur importance et la manière dont l'un influence l'autre. Le portrait final présente l'image complète des éléments clés devant être présents dans un système de gestion de l'énergie.*

MOTS-CLÉS : *Gestion de l'énergie, développement durable, systèmes de production, cadre de gestion de l'énergie.*

1 INTRODUCTION

Ces dernières années, les problèmes énergétiques liés aux changements climatiques, à la rareté des ressources et aux sources d'approvisionnement en énergie ont fait évoluer les attitudes de la société et de l'industrie en faveur de la protection de l'environnement (May *et al.*, 2017). Tandis que les ressources consommées et les déchets résultant de la production affectent l'environnement à diverses échelles, les systèmes manufacturiers continueront d'être un pilier important de l'économie mondiale et, par conséquent, ils doivent exercer davantage de pression sur leurs processus et systèmes de fabrication pour garantir la protection de l'environnement et de la planète (Duflo *et al.*, 2012).

Au fil du temps, la demande de biens a augmenté et, en conséquence, la demande de ressources naturelles et d'énergie a accru abruptement. La transition vers le développement durable nécessite des stratégies qui accroissent l'efficacité des opérations et des processus en mettant en œuvre des méthodes de production moins énergivores. Pour ce faire, les stratégies de fabrication doivent évoluer du « profit maximum avec un capital minimum » au « profit maximum avec un minimum de ressources » (IEA, 2007). À cet égard, l'analyse de la consommation d'énergie et de son utilisation doit faire partie de stratégies exhaustives d'amélioration continue pour favoriser la détection des pertes énergétiques.

La gestion énergétique (GE) industrielle vise ainsi à augmenter l'efficacité énergétique dans les processus de

production. Elle devient une priorité considérable en raison de trois facteurs importants qui motivent la mise en œuvre des systèmes de GE : la hausse des prix de l'énergie, les nouvelles réglementations environnementales sur les émissions de CO₂ et une sensibilisation des clients aux produits énergétiques durables (Bunse *et al.*, 2011; May *et al.*, 2017). De ce fait, l'industrie 4.0 qui se trouve en pleine transition vers la création de valeur industrielle durable (Carvalho *et al.*, 2018), offre la possibilité d'atteindre cette création de valeur à travers les trois principaux piliers de la durabilité : environnemental, social et économique (Stock et Seliger, 2016).

Traditionnellement, comme l'illustrent Schönsleben (2007) et Chryssolouris (2006), les performances d'un système de production étaient évaluées en surveillant quatre attributs : le coût, le temps, la qualité et la flexibilité. Néanmoins, aucun ne tenait compte de l'efficacité énergétique ou des dimensions essentielles à la durabilité. Toutefois, selon Bunse *et al.* (2011), en raison des impacts environnementaux et économiques importants associés à la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique doit être considérée au même titre que les attributs conventionnels. Similairement, Salonitis et Ball (2013) proposent d'étendre le tétraèdre de fabrication proposé par Chryssolouris (2006) pour inclure la « durabilité » comme nouveau moteur de fabrication puisque les processus de production devraient optimiser leur consommation d'énergie pour réduire les pertes énergétiques et l'utilisation des ressources.

L'objectif de cet article vise donc à analyser les éléments devant constituer un système de GE et de quelle façon ils

sont liés entre eux. Pour ce faire, une revue de la littérature a d'abord été menée, afin de mieux comprendre ce que sont les systèmes de GE et leur rôle au sein des systèmes de production. L'analyse de la littérature a ensuite permis de dégager un cadre conceptuel explicitant les éléments clés devant constituer un système de GE et leur interdépendance. L'article vise ainsi à proposer un système de GE pouvant agir comme mécanisme de support et de création de valeur durable dans une organisation afin d'améliorer sa performance énergétique.

Cet article scientifique décrit, à la section 2, la méthodologie de recherche qui a permis d'explorer, rassembler, organiser et évaluer la littérature pertinente sur la GE dans les systèmes de production. À la section 3, cette classification dévoile le portrait conceptuel des éléments clés des systèmes énergétiques. Il est complété par une conclusion.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'état de l'art effectué dans cette recherche a permis d'identifier les principaux cadres de GE présents dans l'industrie et d'examiner différentes méthodologies et modèles de gestion visant à améliorer l'efficacité énergétique dans les systèmes de production.

2.1 Méthodologie de la recherche

Afin d'effectuer une interprétation itérative du sujet et de garder une flexibilité pour creuser la revue scientifique, le cercle herméneutique a guidé la stratégie de recherche. Les bases de données bibliographiques *Engineering Village* et *Web of Science* ont servi de support pour effectuer la revue scientifique. Ensuite, les bases de données textuelles comme *ScienceDirect*, *SpringerLink* et *IEEE Xplore* ont été exploitées pour pousser plus loin certains aspects particuliers de l'étude. L'équation de recherche a été définie comme suit : ("*energy management*" or "*energy management framework*" or "*energy efficient*") and "*manufacturing*" and "*sustainable development*". Dans la phase de collecte des données, l'étude a tenu compte des articles publiés de 2010 à 2019. Cependant, les références pertinentes citées dans ces articles, même datant des années précédentes, ont également été prises en compte. Les critères de sélection ont permis de conserver les articles abordant la GE comme sujet principal ou encore ceux se concentrant sur l'intégration énergétique dans les systèmes de production. Cette analyse a permis de discerner les concepts importants liés à la GE et a également orienté la recherche vers les trois principaux axes de référence de GE étudiés dans cet article : la GE dans les systèmes de production, l'intégration de la GE dans la structure organisationnelle et les modèles de maturité de la GE.

2.2 Systèmes de GE

Dans la littérature étudiée, la GE prend différentes définitions. D'après Field et Safari (2019), la GE englobe

plusieurs approches où le contrôle des émissions polluantes est aussi important que la préservation des ressources. Plus précisément, la norme ISO 50001 (ISO, 2018), qui concerne les systèmes de GE, établit que les objectifs de la GE résident dans l'amélioration de la performance énergétique d'une organisation. Autrement dit, cela implique de mieux gérer la consommation d'énergie pour améliorer la productivité, réduire l'empreinte carbone et éliminer les coûts associés au gaspillage énergétique. Dans leur étude des écarts entre les besoins de l'industrie et la littérature scientifique, Bunse *et al.* (2011) précisent que la GE est constituée de différentes phases où l'efficacité énergétique des systèmes de production doit être mesurée, surveillée et constamment évaluée. De leur côté, May *et al.* (2017) étendent cette définition en disant que la GE couvre également différents niveaux hiérarchiques opérationnels dans une usine de fabrication (c'est-à-dire les outils, l'équipement, les postes de travail, etc.). Ainsi, mesurer la performance énergétique à différents niveaux est nécessaire pour mettre en œuvre une stratégie de GE dans les systèmes de production (May *et al.*, 2013).

Chacune des phases de la GE permet aux décideurs d'identifier les opportunités d'amélioration dans le système énergétique et de suivre les effets de leurs décisions sur la consommation d'énergie (May *et al.*, 2017). Selon Gopalakrishnan *et al.* (2014), un système de GE est un instrument qui précise les objectifs et les politiques énergétiques à cibler, les procédures et les plans d'action à suivre, ainsi que les processus d'amélioration continue. Suivant les principes de la norme ISO 50001, Menghi *et al.* (2019) ont analysé différents outils et méthodes pour évaluer l'efficacité énergétique dans les systèmes de production selon trois groupes : l'analyse énergétique, l'évaluation énergétique et les mesures d'économie d'énergie. Il semble également exister des cadres axés sur la construction de la structure organisationnelle où les fonctions et les rôles des parties impliquées dans le système énergétique sont définis (voir Gordić *et al.*, 2010; Javied *et al.*, 2019). Finalement, il existe des outils pour évaluer le niveau de maturité énergétique des entreprises (voir Introna *et al.*, 2014; Jovanović et Filipović, 2016).

2.3 GE dans les systèmes de production

La GE dans les systèmes de production est composée de plusieurs éléments clés nécessaires pour pouvoir intégrer l'efficacité énergétique dans les opérations d'une entreprise. Cinq thèmes importants sont ressortis de l'analyse de la littérature : les moteurs de changement et les barrières, la mesure de l'efficacité énergétique, les systèmes de contrôle, l'évaluation de l'amélioration de l'efficacité énergétique et les leviers. La Figure 1 illustre les éléments clés de la GE dans les systèmes de production. Chaque élément est brièvement expliqué ci-dessous.

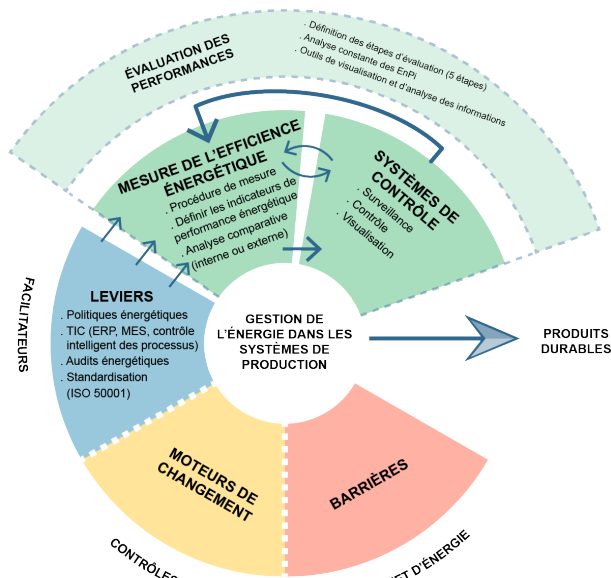


Figure 1 : Éléments clés de la GE dans les systèmes de production

2.3.1 Les moteurs de changement et les barrières

Les moteurs de changement mettent en évidence les motivations des entreprises pour améliorer l'efficacité énergétique, grâce à l'adoption de meilleures pratiques, services et technologies énergétiquement efficaces. Ceux-ci influencent aussi l'organisation et la prise de décisions pour faire face aux barrières existantes qui entravent la transition énergétique (Trianni *et al.*, 2016). Selon les auteurs, les moteurs de changement peuvent être classés en quatre catégories : réglementaires, économiques, d'information et de formation. D'un autre côté, les barrières ralentissent et limitent le mouvement des entreprises cherchant à améliorer l'efficacité énergétique de leurs opérations. Cagno *et al.* (2013) ont développé une taxonomie dans laquelle l'origine de la barrière par rapport à l'entreprise peut être interne ou externe. Les auteurs ont présenté une liste de 27 barrières classées dans les catégories suivantes : économiques, comportementales, manque de sensibilisation, liées aux compétences, information, organisation et technologie. Par conséquent, avant de mener des projets d'efficacité énergétique dans les usines de production, l'identification et l'évaluation des moteurs de changement et des barrières semble essentielle afin d'avoir des systèmes de production moins énergivores et des politiques énergétiques réussies (May *et al.*, 2017).

2.3.2 Mesure de l'efficacité énergétique

La mesure de l'efficacité énergétique est la base pour contrôler la consommation d'énergie dans les processus de production, ce qui permet d'établir des décisions d'amélioration en fonction de ce qui a été observé et d'identifier les potentiels d'optimisation grâce à une surveillance constante de l'efficacité énergétique (Bunse *et al.*, 2011). Actuellement, la mesure des données énergétiques peut aller d'une mesure manuelle à des systèmes de mesure entièrement automatisés. D'après Dörr *et al.*

(2013), la procédure de mesure commence par la définition et l'évaluation de la situation réelle, puis le plan d'action d'amélioration est ensuite défini. Dans le même ordre d'idées, Thiede *et al.* (2012) ont proposé d'évaluer et de mesurer la consommation d'énergie d'une entreprise en dressant un portfolio de chaque équipement en termes de puissance, de temps de fonctionnement et de consommation d'énergie estimée. La génération de données crée un aperçu de la consommation d'énergie et permet de déterminer les indicateurs de performance (Dörr *et al.*, 2013) nécessaires pour évaluer et suivre la performance des systèmes énergétiques (May *et al.*, 2017). La norme ISO 50001 (ISO, 2018) les définit comme des indicateurs de performance énergétique (EnPI). Les EnPI peuvent différer d'une entreprise à l'autre et peuvent ensuite être utilisés pour l'analyse comparative et le contrôle de la consommation d'énergie des entreprises (Javied *et al.*, 2015). Cette analyse comparative peut être utilisée au sein des entreprises pour évaluer périodiquement les progrès de la GE dans les systèmes de production ou à l'externe avec d'autres entreprises qui ont des processus et machines similaires, afin de comparer la performance énergétique des opérations et des équipements (Kent, 2018).

2.3.3 Systèmes de contrôle

La surveillance de l'efficacité énergétique semble par ailleurs nécessaire pour atteindre une meilleure GE dans les systèmes de production, puisqu'elle permet aux décideurs de voir les possibilités d'amélioration, de surveiller l'utilisation de l'énergie et d'observer les résultats de leurs décisions. Par conséquent, dans cette phase, les gestionnaires peuvent déterminer si les objectifs énergétiques sont atteignables ou non (May *et al.*, 2013) et identifier les processus les plus énergivores (Bunse *et al.*, 2011). De ce point de vue, les principaux consommateurs d'énergie industriels, qu'ils soient électriques, thermiques, chimiques ou mécaniques, doivent être identifiés, suivis et analysés en temps réel, afin d'augmenter l'efficacité énergétique dans les systèmes de production. Pour ce faire, Vikhorev *et al.* (2013) proposent un cadre de GE qui permet de surveiller la performance énergétique à tous les niveaux d'un système de production, alors que Vijayaraghavan et Dornfeld (2010) offrent une approche qui permet une surveillance de l'énergie à tous les niveaux d'une organisation. Enfin, Hopf et Müller (2015) ont proposé une approche de gestion visuelle basée sur des cartes de données énergétiques pour visualiser la consommation d'énergie des systèmes industriels.

2.3.4 Évaluation des performances

Pour mener à bien l'évaluation des performances, cinq étapes clés doivent être considérées : surveillance, mesure, analyse et évaluation, audit interne et revue de gestion (ISO, 2018). Les actions que les entreprises déploient pour superviser les trois premières étapes peuvent être simples ou très complexes selon la taille de chaque organisation et la configuration de chaque processus. D'autre part, l'audit interne est un levier qui assure que le système de GE se conforme aux exigences et

objectifs de l'organisation, ainsi qu'aux normes applicables (e.g. ISO 50001). La revue de gestion détermine si le système de GE reste efficace et évalue si les objectifs établis doivent être modifiés (Field et Safari, 2019) ou s'il est nécessaire de lancer des actions correctives et préventives. Avec la génération de données de consommation d'énergie, l'utilisation d'indicateurs de performance énergétique et les outils de visualisation et d'analyse des informations, la base de référence pour évaluer la performance énergétique des processus est alors établie (Dörr *et al.*, 2013).

2.3.5 Leviers

Les leviers soutiennent le système de GE, car ils accélèrent et facilitent la transition des organisations vers une production plus durable d'un point de vue énergétique. Les leviers peuvent être des supports importants au niveau stratégique dans la phase de planification et au niveau opérationnel dans les processus de contrôle, de mesure et d'évaluation de la performance énergétique. Premièrement, les politiques énergétiques élaborées par la haute direction aident à définir des objectifs et des cibles énergétiques qui visent à améliorer la consommation d'énergie, à réduire les émissions environnementales et à réduire les coûts. Ensuite, les audits énergétiques assurent que le système de GE suit les objectifs et les buts établis (Gopalakrishnan *et al.*, 2014) et identifient les domaines où des améliorations sont nécessaires et où les objectifs n'ont pas été atteints. Un troisième levier, la norme ISO 50001, est conçue pour obtenir des résultats mesurables en matière d'efficacité énergétique et de consommation d'énergie, dans le but d'améliorer la performance énergétique d'une organisation (ISO, 2018). Finalement, les technologies de l'information et de la communication (TIC) aident à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre grâce à la mesure et au contrôle en temps réel du comportement énergétique (Vikhorev *et al.*, 2013; May *et al.*, 2017). En plus, ceux-ci facilitent l'évaluation de la performance de l'efficacité énergétique, ce qui génère un meilleur contrôle des processus (May *et al.*, 2013).

2.4 Intégration énergétique dans la structure organisationnelle

Un système de GE efficace implique un cadre organisationnel clair et bien défini dès le départ (Dörr *et al.*, 2013). Un tel cadre dépend de différents facteurs tels que la taille de l'entreprise, le type de secteur industriel, le nombre d'employés, les différents types d'énergie utilisés, etc. (Gordić *et al.*, 2010). Le poste de gestionnaire de l'énergie est crucial, car il aura un rôle de facilitateur, de conseiller, d'expert et de gestionnaire de projets énergétiques (Kent, 2018). Cela étant dit, la définition de la structure interne est un élément clé dans la formation des cadres organisationnels de l'énergie, car dans cette première étape, les dirigeants sont choisis, les responsabilités sont déléguées, les départements sont formés et les tâches sont définies pour les personnes qui seront impliquées (Javied *et al.*, 2019).

2.5 Modèles de maturité de la GE

Lors de la mise en œuvre d'un plan stratégique, il est difficile de déterminer la portée des objectifs si l'état initial de la situation est inconnu. La connaissance de la position de l'entreprise par rapport à ses problèmes les plus représentatifs permettra à la haute direction de déployer des plans d'action efficaces et bien orientés. Dans ce contexte, les modèles de maturité énergétiques d'après Introna *et al.* (2014) permettent à toute entreprise d'évaluer facilement et de manière indépendante son niveau de maturité énergétique. Cette évaluation permet aussi de créer un premier schéma de la situation actuelle de l'entreprise et de déterminer le point de départ du plan de GE. De même, du point de vue des auteurs, la maturité dans le domaine de la GE dépend des bonnes pratiques énergétiques de chaque entreprise, des technologies durables employées et de la façon dont chaque entreprise gère ses besoins énergétiques. À cet égard, Introna *et al.* (2014) ont développé un modèle de maturité qui analyse les enjeux clés de la gestion de la consommation d'énergie, conformément à la norme ISO 50001. Cependant, il existe d'autres modèles avec des approches, des dimensions et des structures différentes (voir Jovanović et Filipović, 2016; Kent, 2018).

3 PORTRAIT DE LA GE

Les ressources financières nécessaires pour obtenir une certification ou pour embaucher des consultants externes qui aident à définir la base de la structure énergétique d'une organisation, peuvent être des barrières économiques, surtout pour les petites et moyennes entreprises (Bunse *et al.*, 2011). Pour cette raison, il ne faut pas oublier qu'un système de GE peut être basé sur la norme ISO 50001 ou il peut s'agir d'un système interne conçu par n'importe quelle entreprise (Kent, 2018; Field et Safari, 2019). Ainsi, dans cette section, les trois principaux axes qui ont émergé de la revue de littérature sont liés dans une image conceptuelle illustrant les principaux piliers d'un système de GE dans les systèmes de production. La Figure 2 montre les principales caractéristiques de chaque élément et la manière dont ils sont interreliés.

La première dimension de l'image conceptuelle correspond à l'évaluation initiale du degré de maturité des entreprises. La relation qu'elle entretient avec les deux autres dimensions est directe, car la connaissance de la magnitude des problèmes permettra de déterminer les ressources, les outils, les procédures et le personnel nécessaires pour mettre de l'avant le plan d'action. En d'autres mots, le niveau de développement de chacun des éléments clés de la GE sera crucial pour la croissance efficace de l'organisation (Introna *et al.*, 2014).

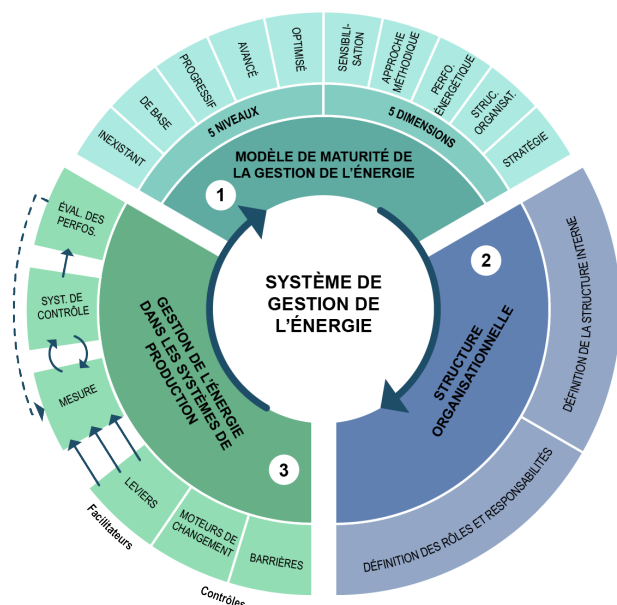


Figure 2 : Portrait conceptuel d'un système de GE

Par ailleurs, la dimension de la structure organisationnelle est fondamentale dans ce cycle, car les équipes construites pour faire face aux enjeux énergétiques doivent partager la vision de leurs dirigeants et posséder les outils nécessaires leur permettant de mesurer, contrôler, évaluer et mettre en œuvre avec succès le système de GE. La formation, les compétences et les qualités de chaque membre de l'équipe contribueront en synergie à l'amélioration de la performance énergétique de l'organisation (Kent, 2018) et de son niveau de maturité. De même, sans l'existence d'un système d'information (structures TIC) permettant de visualiser avec précision les informations critiques et essentielles des opérations, la structure organisationnelle sera inefficace (Dörr *et al.*, 2013). Pour cette raison, une rétroaction constante à tous les niveaux organisationnels permettra de suivre de près les résultats de chaque élément du système de GE. Enfin, au cœur de la troisième dimension se trouvent les éléments clés qui permettent d'améliorer la performance énergétique des systèmes de production d'une entreprise. Premièrement, les moteurs de changement et les barrières stimuleront ou ralentiront le niveau de maturité organisationnelle. La mesure de l'efficacité énergétique permettra une visualisation transparente des flux énergétiques au sein des opérations (Richert, 2017) et aidera à identifier des secteurs pouvant être optimisés (May *et al.*, 2017) grâce à l'utilisation des EnPIs qui fourniront des informations périodiques sur la performance énergétique des processus (Gopalakrishnan *et al.*, 2014). D'autre part, les systèmes de contrôle et de surveillance aideront à identifier les processus les plus énergivores à travers différentes interfaces graphiques (Vikhorev *et al.*, 2013) montrant la consommation d'énergie en temps réel grâce à l'utilisation de dispositifs et de capteurs intelligents (May *et al.*, 2013). Ces systèmes permettront de comprendre les profils d'utilisation de l'énergie et de réduire son utilisation dans les processus de fabrication (Vijayaraghavan et Dornfeld, 2010). De même, l'assurance d'une performance énergétique optimale sera seu-

lement possible en tenant compte des méthodes appropriées d'évaluation (Bunse *et al.*, 2011) et de la participation active de toute l'équipe. Finalement, les leviers, en tant que mécanismes de poussée, amélioreront la croissance et la performance de l'ensemble du système de GE à tous les niveaux organisationnels. En l'absence de l'un de ces éléments, il est fort probable que les changements énergétiques ne perdureront pas ou ne généreront pas les résultats escomptés.

4 CONCLUSION

Pour atteindre les cibles mondiales en matière de développement durable et pour combattre efficacement les problèmes énergétiques actuels, les organisations sont tenues de neutraliser l'utilisation inefficace de l'énergie dans leurs opérations à travers de bonnes pratiques qui génèrent une valeur industrielle durable. Ainsi, elles doivent restructurer leur culture organisationnelle et l'ériger sur les dimensions de la durabilité pour rentabiliser la consommation d'énergie. Dans ce contexte, les systèmes de GE dans les processus de production sont des propulseurs de changement qui permettent d'augmenter l'efficacité énergétique des opérations, de préserver les ressources et de réduire l'empreinte carbone. Le travail mené dans cette recherche a exploré la littérature dans le but d'identifier et de lier, dans une image conceptuelle, les éléments clés de la GE dans les systèmes de production. La revue de littérature a révélé qu'un système de GE se développe en plusieurs étapes. La première étape identifie à travers une analyse de maturité initiale l'amplitude du problème énergétique et aide les décideurs à définir les ressources, les outils et le personnel à déployer pour mener à bien les plans d'action. La seconde étape aborde la structure organisationnelle qui doit être construite en fonction de l'envergure des objectifs énergétiques de l'organisation, de sa taille et des ressources disponibles. La dernière étape se centralise sur la mesure, le contrôle, l'évaluation et la mise en œuvre du système de GE. Les trois étapes fournissent aux organisations un cadre de GE montrant les dimensions sur lesquelles elles doivent travailler pour améliorer la performance énergétique de leurs opérations. De même, l'applicabilité du portrait énergétique dépendra de divers facteurs clés de succès tels que les stratégies énergétiques à court, moyen et long terme, l'existence d'une unité de gestion de l'énergie, le suivi de la performance énergétique des opérations ainsi que des audits énergétiques. La présence de tels facteurs tout au long du processus de mise en œuvre du système de GE peut ainsi faciliter l'atteinte des objectifs énergétiques des organisations.

Dans une recherche future, il serait intéressant d'étudier l'évolution de la maturité énergétique d'une entreprise par rapport à la dimension de la structure organisationnelle, étant donné que la participation active de toutes les personnes impliquées dans le processus de changement favorise la croissance énergétique progressive de l'organisation. Nonobstant, la mise en œuvre de tout système énergétique commençant par l'approbation de la haute

direction d'une entreprise, le leadership des décideurs et leur motivation à vouloir changer les choses semble la véritable clé du progrès.

RÉFÉRENCES

- Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., & Ernst, F. O. (2011). Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 667-679.
- Cagno, E., Worrell, E., Trianni, A., & Pugliese, G. (2013). A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 290-308.
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671-678.
- Chryssolouris, E. L. K. E. (2006). *Manufacturing Systems: Theory and Practice*. Springer-Verlag New York, XXVI, 606.
- Dörr, M., Wahren, S., & Bauernhansl, T. (2013). Methodology for Energy Efficiency on Process Level. *Procedia CIRP*, 7, 652-657.
- Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals*, 61(2), 587-609.
- Field, A., & Safari, a. O. R. M. C. (2019). - ISO 50001 - A strategic guide to establishing an energy management system.
- Gopalakrishnan, B., Ramamoorthy, K., Crowe, E., Chaudhari, S., & Latif, H. (2014). A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 154-165.
- Gordić, D., Babić, M., Jovičić, N., Šušteršič, V., Končalović, D., & Jelić, D. (2010). Development of energy management system – Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2783-2790.
- Hopf, H., & Müller, E. (2015). Providing energy data and information for sustainable manufacturing systems by Energy Cards. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 36, 76-83.
- Introna, V., Cesarotti, V., Benedetti, M., Biagiotti, S., & Rotunno, R. (2014). Energy Management Maturity Model: an organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies. *Journal of Cleaner Production*, 83, 108-117.
- IEA 2007. *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 emission*.
- ISO. (2018). *ISO 50001: 2018, Energy management systems*.
- Javied, T., Deutsch, M., & Franke, J. (2019). A model for integrating energy management in lean production. *Procedia CIRP*, 84, 357-361.
- Javied, T., Rackow, T., & Franke, J. (2015). Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, 26, 156-161.
- Jovanović, B., & Filipović, J. (2016). ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2744-2755.
- Kent, R. (2018). Introduction to energy management. In *Energy Management in Plastics Processing* (pp.3-32).
- May, G., Stahl, B., Taisch, M., & Kiritsis, D. (2017). Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1464-1489.
- May, G., Taisch, M., & Kelly, D. (2013). Enhanced Energy Management in Manufacturing through Systems Integration. In *39th Annual Conference of the Ieee Industrial Electronics Society* (pp. 7525-7530). New York: Ieee.
- Menghi, R., Papetti, A., Germani, M., & Marconi, M. (2019). Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. *Journal of Cleaner Production*, 240.
- Richert, M. (2017). An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company. *Journal of Cleaner Production*, 164, 221-229.
- Salonitis, K., & Ball, P. (2013). Energy Efficient Manufacturing from Machine Tools to Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 7, 634-639.
- Schönsleben, P., 2007. *Integral Logistics Management. Operations and Supply Chain Management in Comprehensive Value-added Networks*, third ed. Auerbach, Boca Raton, FL.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541.
- Thiede, S., Bogdanski, G., & Herrmann, C. (2012). A Systematic Method for Increasing the Energy and Resource Efficiency in Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, 2, 28-33.
- Trianni, A., Cagno, E., Marchesani, F., & Spallina, G. (2016). Classification of drivers for industrial energy efficiency and their effect on the barriers affecting the investment decision-making process. *Energy Efficiency*, 10(1), 199-215.
- Vijayaraghavan, A., & Dornfeld, D. (2010). Automated energy monitoring of machine tools. *CIRP Annals*, 59(1), 21-24.
- Vikhorev, K., Greenough, R., & Brown, N. (2013). An advanced energy management framework to promote energy awareness. *Journal of Cleaner Production*, 43, 103-112.