

INTRODUCTION

Le développement durable s'impose maintenant comme une évidence, une voie obligatoire nécessaire pour continuer à produire. Le Grenelle de l'environnement 2007-2012, La mise en œuvre d'une stratégie nationale de développement durable de 2010 à 2013 et la signature du traité de Paris lors de la COP21 de 2016 sont autant de signes gouvernementaux montrant qu'il est crucial que nos pratiques industrielles, bien souvent gouvernées par le seul retour sur investissement financier, soient repensées pour prendre en compte d'autres facteurs liés à des considérations humaines et/ou écologiques et cela tout au long du cycle de vie des produits. Cela constitue d'ailleurs une priorité de la nouvelle Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable (*SNTEDD 2015-2020*), dont l'axe 6 vise à orienter la production de connaissances, la recherche et l'innovation vers la transition écologique¹.

La prise en compte de ce contexte nouveau implique de nouvelles questions de recherche : comment formaliser les contraintes qui lui sont liées ? Comment les intégrer au sein de modèles existants ? Quels impacts sur les théories, méthodes et outils classiquement utilisés dans la littérature ? Quelle est la dynamique des systèmes naturels et sociaux à considérer ? Comment réduire l'impact de nos systèmes industriels sur ces systèmes naturels et sociaux ? Toutes ces questions font l'objet de ce numéro dans lequel les papiers sélectionnés s'intéressent tous à des aspects différents du développement durable. Pour que l'intégration du développement durable soit efficace, il est nécessaire qu'il soit répercuté sur toutes les couches de la pyramide CIM (*Computer-Integrated Manufacturing*), aussi bien sur les plans *stratégique*, *tactique* ou *opérationnel*. Ce numéro propose des contributions intervenant à tous les niveaux de cette pyramide CIM, portant sur les thèmes suivants :

– *Niveau stratégique – Pilotage de projet* : toute entreprise souhaitant associer la transition énergétique dans son plan stratégique doit nécessairement intégrer les problématiques du développement durable. De nouveaux outils de pilotage sont donc nécessaires pour permettre aux décideurs de prendre en compte et d'évaluer les impacts de leurs décisions sur l'environnement et/ou sur le tissu social à l'aide d'indicateurs de performance reliés à de multiples facteurs écologiques et sociaux qui lui sont liés. (Mabrouk *et al.*, 2016) propose en ce sens un cadre d'évaluation et d'accompagnement basé sur une simulation de scénarios.

– *Niveau tactique – Optimisation de systèmes et aide à la décision* : (Boukherroub *et al.*, 2016) dresse un état de l'art de la littérature sur les modèles de conception et de planification des chaînes logistiques durables en recherche opérationnelle, capables de prendre en compte des facteurs écologiques ou sociétaux. Comme le soulignent les auteurs, piloter la performance durable nécessite de considérer des systèmes sociaux et environnementaux en plus de systèmes

1. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-strategie-nationale-de,42115.html>

économiques examinés classiquement, dont il faut pouvoir maîtriser la dynamique changeante.

– *Niveau opérationnel – contrôle de systèmes naturels continus/hybrides* : si les approches continues sont très souvent utilisées pour modéliser des systèmes dynamiques hybrides, des approches continues ou discrètes sont possibles. (Indriago *et al.*, 2016) s'intéresse au contrôle holonique de système de réservoirs liés à l'extraction de pétrole, quand (Fernandez *et al.*, 2016) s'intéresse au problème de la gestion de la charge d'un réseau électrique de véhicules électriques rechargeables.

– *Niveau opérationnel – Modélisation de systèmes environnementaux* : intégrer le développement durable dans des modèles de prises de décision passe par la prise en compte de facteurs environnementaux, liés aux systèmes naturels présents dans l'environnement. Ces systèmes évoluent constamment et leur dynamique doit donc être maîtrisée pour une prise de décision optimale. Les contributions (Horváth *et al.*, 2016 ; Thomas *et al.*, 2016) s'intéressent à de tels systèmes et essaient de modéliser leur dynamique par le biais de modèles continus.

Toutes ces contributions s'appuient sur des modèles de type :

– *Modélisation* : réseaux de neurones, modèle de maturité, modèle dynamique continue, programmation non linéaire, modèle holonique.

– *Optimisation et aide à la décision* : arbres de décision, ensemble classificateur, algorithme dédié, *Mixed Integer Linear Programming*.

– *Simulation* : simulation par scénario.

Les systèmes considérés dans les articles sélectionnés sont de diverses natures : système connecté pour la qualité de l'air, entreprise, chaîne logistique, réseau de voies navigables, véhicule électrique rechargeable, système de réservoirs.

Contributions

Parmi les papiers introduits précédemment, quatre ont été sélectionnés suite à la 10^e Conférence francophone de modélisation, optimisation et simulation (MOSIM'2014) dont le thème a été « de l'économie linéaire à l'économie circulaire ». Un appel à soumission ouvert a également été distribué, permettant d'identifier deux contributions supplémentaires. Pour tous les papiers il a été procédé à une relecture en deux phases par deux relecteurs au moins.

Le premier article de Boukherroub *et al.* présente une revue de la littérature systématique sur les modèles de conception et de planification des chaînes logistiques durables en recherche opérationnelle. L'objectif est de rendre compte de l'intégration des aspects économiques, environnementaux et sociaux dans les modèles mathématiques. Les auteurs s'intéressent aux critères de la performance durable considérés ainsi qu'à leur formulation dans les modèles. Ils mettent par ailleurs l'emphase sur les contextes industriel et législatif dans lesquels les modèles des chaînes logistiques durables ont été proposés. À l'issue de l'analyse de la littérature, les conclusions majeures et plusieurs perspectives de recherches sont présentées.

L'article de Fernandez *et al.*, s'intéresse aux véhicules électriques rechargeables (Plug-in electric vehicles - PEV) qui ont été proposés comme une des solutions pour réduire la dépendance du transport par rapport au pétrole. Malgré ceci, si les PEV s'envisagent comme une nouvelle charge du réseau sans aucune gestion, la qualité d'énergie sera dégradée. Parmi les paramètres caractérisant la qualité d'énergie, le déséquilibre triphasé en courant et en tension seront impactés de façon importante. Cet article propose une stratégie en temps réel qui cherche à minimiser le taux de déséquilibre triphasé en courant (Current Unbalance Factor - CUF) ; celui-ci étant une conséquence de la consommation des PEVs et des lotissements au niveau de points de connexion commun (Common Connection Points - CCP) dans un réseau résidentiel. La stratégie a été simulée dans un modèle de réseau de basse tension sur MatLab/Simulink.

L'article de Horváth *et al.* s'intéresse aux réseaux de voies navigables et plus particulièrement à leur résilience suite au changement climatique et son impact sur les fleuves et rivières, et donc sur les voies navigables. Il s'agit à partir de modèles climatiques couplés à des modèles hydrologiques de prédire l'état de la ressource sur des horizons futurs allant jusqu'à la fin du siècle, en considérant plusieurs scénarios de changement climatique. Cette démarche n'est pertinente qu'à la condition de disposer de modèles climatiques et hydrologiques fiables et de méthodes permettant de réduire l'incertitude liée à l'utilisation de chaque modèle. Dans le cas contraire, l'étude de la résilience des voies navigables peut être effectuée à partir d'un modèle volumique représentant leur dynamique. Ce type de modèle est considéré dans cet article. Il s'agit d'un modèle intégré de réseaux de voies navigables qui permet la modélisation de leur dynamique tout en considérant la possible influence des bassins versants et des nappes phréatiques. Ce modèle est basé sur le bilan journalier des volumes d'eau entrant et sortant de chaque bief du réseau. Il est utilisé afin d'étudier les conditions limites du bon fonctionnement des réseaux de voies navigables en période d'étiage. L'approche proposée est illustrée dans le cadre du réseau de navigation du Nord-Pas de Calais à partir de données réelles.

L'article d'Indriago *et al.* propose d'appliquer le paradigme holonique à une classe inhabituelle de systèmes pour ce paradigme : les systèmes hybrides. Le paradigme holonique donne une réponse pertinente au besoin de flexibilité de ces types de système. Le modèle proposé dans l'article est composé de l'union du modèle hybride Contrôleur-Interface-Système et du modèle holonique PROSA. Un cas d'étude s'appuyant sur un système de commutations d'arrivées a été choisi et illustre la pertinence de l'architecture de référence discrète pour modéliser les systèmes hybrides. Une évaluation de performance de la solution est proposée en comparaison avec un algorithme d'ordonnancement du serveur.

L'article Mabrouk *et al.* présente un cadre d'évaluation et d'accompagnement via une simulation d'un projet de développement durable en entreprise. L'objectif est d'aider les décideurs ou chefs de projet en leur fournissant toutes les informations qui leur permettront d'optimiser les différents scénarios de développement, puis de mettre en place des résultats de suivi, nécessaires pour la réalisation de plans de progrès. En d'autres termes, il s'agit d'intégrer tous les enseignements provenant des décisions passées afin de faciliter les futures prises de

décision. Pour ce faire, les auteurs développent une méthodologie complète (modèle de référence et démarche de mise en œuvre associée) pour le pilotage d'un projet de développement durable au sein d'une entreprise, depuis le positionnement de l'entreprise relativement aux enjeux du développement durable, l'identification d'une stratégie à développer, la simulation de cette stratégie a priori, la mise en place d'actions concrètes et la mesure des résultats et des progrès accomplis a posteriori. Un outil informatique facilitant la mise en œuvre de l'ensemble est également proposé.

L'article de Thomas *et al.* traite de la qualité de l'air intérieur qui a un impact déterminant sur l'exposition des personnes à des polluants. Il s'intéresse plus particulièrement à un système qui mesure toutes les minutes plusieurs paramètres relatifs à la qualité de l'air : température, humidité, concentrations de COV, CO₂, formaldéhyde et particules fines (pm). Au-delà de cet aspect de collecte de mesures, le système inclut des outils d'analyse de données ayant pour but de déterminer les situations d'usages de l'habitation (présence, cuisine, ménage...) afin de fournir des conseils à l'utilisateur dans le but d'améliorer cette qualité de l'air. C'est un problème de classification de données dynamiques, et deux outils (réseaux de neurones et arbres de décision) sont testés et comparés. Afin d'améliorer les performances du classificateur, les ensembles classificateurs sont également étudiés.

ALEXIS AUBRY

WILLIAM DERIGENT

CRAN, Université de Lorraine