



DESCRIPTION SUJET DE THESE
POUR UNE CONVENTION CIFRE
« CAMPAGNE 2020 »

Direction : Syndicat National des Moniteurs du Ski Français (SNMSF)

Service : Système d'Information ESF (SI ESF)

Tuteur proposé : Laurent Teste, responsable du SI ESF

TITRE DE LA THESE :

Méthodes formelles d'extraction et de réutilisation des connaissances provenant de sources hétérogènes pour l'interopérabilité sémantique des architectures distribuées

Mots clés : Formalisation de la connaissance, Fouille de données multi relationnelles, Analyse de concepts relationnels, Systèmes cyber physique, Interopérabilité sémantique des plateformes

1/ Descriptif du thème de recherche et du sujet de thèse associé :

Thème et problématique de recherche

Le tourisme est un enjeu stratégique pour la France. Première destination touristique mondiale depuis plusieurs années avec 89 millions de visiteurs par an, le secteur pèse plus de 7% du PIB de l'Hexagone. Lorsque l'on étudie chacune de ses grandes composantes (transport, hébergement, restauration et loisirs), de nouveaux acteurs émergent régulièrement sur le marché. Ce rythme d'innovation soutenu a pour conséquence de modifier les rapports de forces en présence. La France a été le premier pays à se doter d'un office national du tourisme, dès 1910. Aujourd'hui, le tourisme est toujours un pilier stratégique mis en avant par les pouvoirs publics, pilotés par l'État au niveau national, tout en s'appuyant sur les collectivités locales à des échelons inférieurs comme les offices de tourisme de France (OTF), les comités départementaux du tourisme (CDT) et les comités régionaux du tourisme (CRT).

Cette partie institutionnelle du tourisme a souffert et souffre encore du grand boom des nouvelles technologies. Capter l'intérêt de nouveaux voyageurs à l'heure du numérique et suivre les dernières tendances toujours plus rapides nécessitent une approche novatrice intégrant les nouvelles habitudes digitales des consommateurs.

L'économie de la Montagne Française représente 10 Milliards d'Euros, 120000 emplois pour plus de 53 millions de journées skieurs en hiver. La France occupe le 3^{ème} rang mondial derrière l'Autriche et les Etats Unis, au coude à coude alors qu'elle dispose des plus grands Domaines Skiables au Monde.

La transformation du marché du tourisme a commencé dès le début des années 2000 avec la démocratisation d'internet ; Booking et Expedia apparaissaient en 1996 et Trip Advisor en 2000 par exemple. L'apparition des OTA (Online Travel Agencies) et des comparateurs en ligne a eu un impact direct sur la chaîne de valeur existante qui comptait un grand nombre d'intermédiaires. De nombreuses plateformes se sont ainsi développées dans le but de centraliser le trafic internet, capter et monétiser la donnée client afin de se positionner comme un point de passage obligatoire pour les acteurs du tourisme. Au travers d'un commissionnement sur les ventes allant parfois jusque + 30%, ces acteurs sont devenus une force et une faiblesse du modèle actuel entraînant une majoration des prix de ventes pour pouvoir prendre en compte les commissions. Le voyageur souhaitant pouvoir gérer simplement et de bout en bout la réservation de ses prochaines vacances via un unique point de contact. En tant qu'acteur fortement impliqué dans le développement économique des massifs, le Syndicat National des Moniteurs du Ski de France (SNMSF) qui regroupe 17 000 moniteurs au sein des Écoles du Ski Français (ESF) sur l'ensemble du territoire, participe au développement du Tourisme depuis 1945. Reconnue comme la plus grande Ecole de ski au monde, ESF constitue le 1^{er} réseau professionnel homogène en montagne permettant ainsi de mettre en place des outils mutualisés au seul bénéfice des territoires et de ses acteurs. Ainsi, le SNMSF sort de son activité d'enseignement des activités de glisse sur neige pour participer à l'évolution et la mutation de la commercialisation de la Montagne Française.

En 2016, le SNMSF a lancé une place de marché « Mon Séjour en Montagne » qui repose sur des valeurs fortes d'équités pour les acteurs touristiques et de transparence et fluidité pour le client. Cette plateforme collaborative porte la vision du SNMSF d'un tourisme durable, équitable et solidaire. Le projet nourrit par le projet Européen DIH4CPS ambitionne de rendre la plateforme encore plus pour poser les jalons d'un système global, intelligent et connecté

(Smart Montagne) permettant la collecte et le traitement des données en temps réel afin d'extraire de la nouvelle connaissance à des fins touristiques. Ces données et informations seront ensuite agrégées et transformées par des systèmes d'inférence automatique pour formaliser les connaissances implicites existantes.

Ce travail porte sur la création des modèles mathématiques et l'implantation de capteurs intelligents, Systèmes Cyber Physiques (CPS) pour enrichir la couche de données qui remonte du terrain. L'un des défis scientifiques les plus pertinents est le manque de formalisation (en d'autres termes mathématiques) des modèles de systèmes et des systèmes d'information qui en découlent, ainsi que la définition de la sémantique des concepts et des relations qu'ils appliquent, afin d'assurer leur compréhension commune et de faciliter leur interopérabilité en minimisant les pertes sémantiques ;

État de l'art scientifique

Pour apporter à ce projet, déjà en marche, des contributions scientifiques précises et concrètes on utilisera une approche de l'ingénierie des systèmes interopérables (Ramos, 2011) et (Morel, 2003) qui consiste à s'appuyer sur différents types et niveaux d'abstraction ou de modèles. Ces modèles doivent exprimer et formaliser non seulement l'aspect "structurel" des composants du système, mais aussi leur comportement (Maier, 1998), qui peut être limité par les exigences spécifiques du domaine du système (règles commerciales). Un autre type de contrainte peut être induit par le ou les protocoles d'interopérabilité qui peuvent imposer des règles strictes pour doter les systèmes interopérables de propriétés telles que l'autonomie, la confidentialité et la transparence (Zdravković et al, 2016).

L'objectif de ce projet de recherche est double : d'une part, modéliser des données provenant de sources hétérogènes et, d'autre part, étudier les problèmes posés par l'ingénierie dirigée par les modèles dans les systèmes coopératifs. Impliquant une coopération concernant les "systèmes d'acteurs" désireux d'interopérer. Les systèmes collaboratifs sont désormais organisés en réseaux, soit sous forme de systèmes complexes (Camarinha-Matos, 2014). Les systèmes complexes envisagés seront composés de réseaux de CSP, des capteurs intelligents, qui récupéreront des données en insérant le contexte et formeront ainsi des réseaux d'information (Cardin, 2016).

Les objets collaboratifs peuvent être assimilés à un système réticulaire de systèmes d'objets ouvert (Brownsword, 1998). La spécification d'un tel réseau implique d'évoluer du seul paradigme d'intégration vers un paradigme d'interopération (Fisher, 2006). Une des exigences de ce besoin de collaboration concerne la capacité de ces composants à interopérer, c'est-à-dire leur interopérabilité, plus au moins totale.

Le challenge scientifique est ainsi de mettre à disposition des langages et des outils de modélisation adaptés à chaque projet de systèmes avec architecture distribuée, et ce malgré l'hétérogénéité des compétences métier et la pluridisciplinarité des domaines. Ce challenge possède deux dimensions : d'une part, celle de la capacité de la modélisation à outiller les démarches métier, ce qui nécessite la définition et la formalisation de leurs invariants ; d'autre part, l'étude des conditions d'usage des modèles dans la pratique, toujours évolutive et

incertaine. L'analyse des concepts formels (FCA) (Priss, 2006) est un instrument utile et puissant pour décrire formellement les liens entre des objets quelconques (qui forment un contexte), en particulier entre des objets véhiculant la connaissance. Cette méthode se base sur la théorie des treillis (Wille, 2009), qui peut être utilisée pour résoudre des problématiques d'évaluation d'interopérabilité entre systèmes d'information au sein des entreprises.

Une extension des mécanismes de la FCA a été introduite dans (Rouane-Hacene et al. 2013) et appelée Analyse des Concepts Relationnelles (RCA) où le focus est sur les ensembles des données compatibles avec les Modèles Entités Relations (ER) (Chen, 1976) ou, alternativement, avec le Resource Description Framework (RDF) (Miller, 1998). Les Linked Open Data a été reconnu comme une source précieuse pour obtenir des informations générales sur l'exploration des données et les graphes de connaissance sont une méthode pour formaliser cette connaissance (Ristoski, 2016). Cela constitue une méthode pour extraire de la connaissance conceptuelle à partir de données multi-relationnelles. L'extraction d'information est une partie du domaine d'étude appelé fouille de données (Manning et al, 2008), les informations qui peuvent être mis en relation entre eux peuvent être étudiés à travers les méthodes de l'exploration de données multi-relationnelles (MRDM) (Džeroski, 2003) qui traite les données multi contextuelles.

La méthode RCA ne se limite pas à l'extraction de connaissance de contextes séparés : elle vise à exprimer des connaissances en inter opérant la sémantique de différents contextes, c'est-à-dire qu'en plus d'extraire la connaissance d'un contexte précis, les données contenues dans les autres contextes sont utilisées dans le but d'enrichir l'extraction de connaissances.

Verrous scientifiques adressés par la thèse

Face à ce défi les verrous scientifiques concernent :

1. Le manque de formalisation (en autres mathématique) de l'agglomération des informations dans les modèles de systèmes et des systèmes d'informations qui en émergent, ainsi que la définition de la sémantique des concepts et des relations qu'ils mettent en œuvre, pour assurer leur compréhension commune, et faciliter leur interopérabilité en minimisant les pertes sémantiques ;
2. L'adaptation (voire l'extension) des outils de nature algébrique et/ou géométrique (théorie des treillis, théorie des catégories, algèbre homologique) dans le contexte de l'analyse des concepts formels, pour le traitement de données hétérogènes en constante évolution. Ce qui constitue une approche récente qui n'a pas encore été pleinement développé (même du point de vue mathématique) pour ce type de données.

Ce sujet de thèse, impliquant une recherche à la fois théorique et appliquée, s'inscrit complémentirement dans les thématiques de recherche du projet SIA (Systèmes Intelligence Ambient) du groupe thématique ISET du CRAN. Au niveau international, ce sujet est partiellement traité au sein du laboratoire virtuel européen INTEROP-VLab sur l'interopérabilité de modèles dont les membres « couvrent » une grande partie de l'Europe et de la Chine. La communauté de chercheurs issue de l'IFAC TC 5.3 "Enterprise Integration and Networking" s'intéresse aussi à cette problématique de formalisation de la sémantique et des modèles pour l'interopérabilité des systèmes.

2/ Objectifs et contribution aux axes R&D du SNMSF :

Le sujet de thèse proposé est dans la continuité d'une thèse précédemment réalisée (2017-2020) ayant posé les fondements d'une méthodologie d'extraction de connaissance polyvalente et portant plus spécifiquement sur la gestion des règles d'association dans des contextes relationnels.

La thèse proposée entre dans le cadre du Domaine d'Expertise Stratégique « Industrie 4.0 ». Les précédents travaux ont démontré l'intérêt d'une approche holistique de l'ensemble des ressources informationnelles et ont permis le développement d'une méthodologie focalisée sur l'optimisation de la gestion de connaissance. La présente proposition vise donc à poursuivre les travaux engagés par l'élaboration d'une méthode formelle d'extraction et de réutilisation des connaissances provenant de sources hétérogènes pour l'interopérabilité sémantique des architectures distribuées. Cette méthode sera intégrée comme brique méthodologique au processus de gestion des ressources d'information aptes à l'aide à la décision. Il constitue ainsi un élément structurant pour le projet d'une grande plateforme « Mon séjour en Montagne » du SNMSF.

3/ Intérêt du travail de Recherche pour l'Entreprise :

État de l'art chez SNMSF

Des initiatives sont en cours concernant l'étude de la formalisation de la connaissance à travers le web sémantique et l'utilisation d'algorithmes d'Intelligence Artificielle afférents à la branche de Machine Learning. Ces travaux sont connus de la communauté « data science » et ne répondent que partiellement à la vision long terme et au déploiement à grand échelle car spécifique à un cas d'application particulier et orienté au système actuellement en utilisation.

Complémentarité des travaux proposés / existant chez le SNMSF

Les travaux proposés se positionnent clairement dans la continuité de la thèse effectuée par Mickael Wajnberg de 2017 à 2020 au CRAN (université de Lorraine, UMR-CNRS 7039). Ils visent ainsi à capitaliser et étendre les travaux précédemment réalisés au champ de l'extraction, formalisation et gestion de la connaissance et de l'aide à la décision. Le cas d'application sera constitué par les systèmes d'informations et de remontés des données d'une des stations de ski des Vosges. Ce travail vise, en outre, à fournir à l'activité « analyse de données » du projet « Mon séjour en Montagne » un cadre structurant pour le passage à l'échelle des analyses de sources de données hétérogènes et de l'aide à la décision à l'ensemble de toutes les stations de ski des massifs de France. Cette plateforme collaborative porte la vision du SNMSF d'un tourisme durable, équitable et solidaire. Le projet nourrit par le projet Européen DIH4CPS ambitionne de rendre la plateforme encore plus pour poser les jalons d'un système global, intelligent et connecté (Smart Montagne) permettant la collecte et le traitement des données en temps réel afin d'extraire de la nouvelle connaissance à des fins touristiques.

Retombées attendues pour le SNMSF / Évaluations des retombées

Les originalités de cette thèse, en lien avec les verrous scientifiques, sont de (i) poser les fondements et développer la formalisation de l'agglomération des informations dans les modèles de systèmes et des systèmes d'informations qui en émergent, ainsi que la (ii) définition de la sémantique des concepts et des relations qu'ils mettent en œuvre, pour assurer leur compréhension commune, et (iii) faciliter leur interopérabilité en minimisant les pertes sémantiques. La thèse vise donc à attaquer ces trois défis pour apporter des contributions aux trois originalités pour compléter l'élaboration d'un processus d'ingénierie de la connaissance, initié par M. Wajnberg avec sa thèse intitulée « Analyse relationnelle de concepts : une méthode polyvalente d'extraction de connaissance ». Ce processus d'ingénierie sera mis en œuvre dans le cadre de la thèse sur le cas d'étude d'une des stations de ski des Vosges. Les résultats obtenus donneront lieu à un prototype s'intégrant comme une brique technologique de la plateforme « Mon séjour en Montagne »

Les attendus pour SNMSF concernent la validation de l'applicabilité concrète de la méthodologie et de sa valeur ajoutée par rapport aux approches alternatives présentes chez eux. Les retombées estimées sont autant opérationnelles (développement de l'approche générique de formalisation de la connaissance, développement de la méthode d'interopérabilité sémantique entre les sources hétérogènes de données, développement algorithmique, développement de modèles de connaissance, développement de la plateforme web et Data Hub destinés aux touristes et aux entreprises du domaine du tourisme etc.) qu'organisationnelles (meilleure gestion des ressources, meilleure utilisation des bases de connaissances évolutive remplie de données provenant de systèmes cyber physiques et de d'autres plateformes open source) que business (mise en application des résultats, déploiement sur les autres stations & automatisation / généralisation). Du fait de cette démonstration, cette méthodologie devra ensuite être industrialisée et déployée sur un grand nombre de systèmes de production.

4/ Description des activités de recherche :

Liste des activités de recherche

Les activités de recherches peuvent être structurées en 4 étapes. Ces étapes sont présentées à titre indicatif et peuvent être adaptées en fonction des contraintes de la thèse.

1. Investigation des problématiques industrielles et scientifiques
 - a. Appréhender les besoins, problèmes et exigences du côté industriel en lien avec l'applicatif choisi et le cadre donné
 - b. Généraliser ces besoins et problèmes au système de base de connaissance évolutive. Les aspects de niveaux, interopérabilité sémantique des sources de données, de définition d'indicateurs de pertinence des nouvelles connaissances, de prise de décision en exploitation des nouvelles connaissances extraites
 - c. Définir les cas d'étude synthétisant la problématique des verrous industriels desquels découlent les verrous scientifiques à investiguer

- d. Appréhender la discipline scientifique de Fouille de données et de formalisation de la connaissance
2. Élaboration de l'état de l'art en se focalisant sur ce qui est déjà « résolu » ou en voie de l'être sur chacun des items des verrous scientifiques présentés, et sur les modèles/algorithmes de MRDM (Extraction de données multi-relationnelles) et leur intégration dans un objectif d'aide à la décision en exploitation dans le contexte des systèmes d'informations.
3. Propositions pour attaquer les verrous identifiés
 - a. Formalisation, dans un premier temps, du concept potentiel d'utilisation restant en lien avec l'exploitation des systèmes existants (niveau opérationnel, tactique et stratégique). Cette formalisation doit reposer sur des outils tels que UML ou SysML. Dans un second temps, identification des algorithmes supports à l'élaboration de l'interopérabilité sémantique entre les systèmes d'information basées sur des sources hétérogènes de données.
 - b. Formalisation d'algorithmes de profilage et aide à la décision, sous forme de typologie des informations servant au couplage. Cette formalisation doit se baser sur un ensemble de règles décrites à travers une logique de description (logique descriptive).
 - c. Spécification des mécanismes d'aide à la décision multicritères.
4. Validation des propositions et leur outillage
Validation des propositions à partir d'expérimentations et d'exploitation des données résultantes puis intégration de tous les éléments pour proposer un prototype opérationnel. L'objectif est de montrer l'applicabilité concrète de la méthodologie et surtout aussi sa valeur ajoutée par rapport aux outils déjà présents chez SNMSF.
Cela va consister
 - À l'implantation du prototype en l'interfaçant avec la plateforme existante ;
 - Paramétrer le prototype (déployer la méthodologie) par rapport aux besoins/exigences du système existant pour aider à la prise de décision ;
 - Évaluer les résultats et capitaliser l'expérience.

Articulations des activités entre R&D et labo

Localisation principale au département Système d'Information ESF du SNMSF à Meylan avec des visites régulières sur les sites des stations des ski des Vosges où les capteurs intelligents seront placés et exploités. Répartition du temps approximative de 60% SNMSF / 40% CRAN.

Méthodes utilisées

Modélisation système (UML, SysML, Ontologies), logiques utilisés (logique de description, logique temporelle), traitement du signal et traitement des données (ex. machine learning).

Principaux livrables

Les livrables sont en lien avec les étapes explicitées ci-dessus, satisfaisant les exigences SNMSF et académiques. Ils sont matérialisés par des communications scientifiques, des

communications internes SNMSF et la réalisation finale d'un prototype opérationnel au sein de l'écosystème informatique SNMSF.

5/ Choix du ou des laboratoire(s) de recherche :

Compétence du laboratoire d'accueil CRAN sur le sujet de thèse proposé :

La problématique de la thèse est directement traitée au sein du département ISET (Ingénierie des Systèmes Eco- techniques) du CRAN. En effet par rapport au périmètre de Formalisation de la connaissance et Interopérabilité de la thèse, ce département possède un véritable savoir et savoir-faire en lien avec les problématiques d'interopérabilité sémantique, systèmes d'information et d'aide à la décision dynamique intégrée au sein des différents systèmes d'informations (ERP, MES, Système de soutien etc.) dans l'objectif d'une prise de décision optimale. Ces compétences sont reconnues et avérées aussi bien au travers de la participation active de certains enseignants/chercheurs d'ISET au sein des IEEE PHM, IFAC TC5.3. – IFIP WG 12.1, du GdR MACS ; par rapport aux publications développées dans les journaux du domaine (ex. CII, EIS, IJPR) ; par rapport à l'organisation d'événements comme le l'IFAC INCOM 2018 ... Parmi les travaux réalisés au sein de ce département, certains sont véritablement porteurs d'originalité comme les premières thèses défendues en France en matière communicante (2012), annotation sémantique (2013), en raisonnement sémantique (2017), en jumeau numérique (2020), en analyse relationnelle des concepts (2020).

Tous ces éléments ont fait du CRAN est des acteurs français et international majeur dans la formalisation de la connaissance.

Quelques thèses CRAN en lien avec la problématique posée

- Mohamed Habib Mazouni. Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2008. Français. <tel-00338938v2>
- Aurélie Léger. Contribution à la formalisation unifiée des connaissances fonctionnelles et organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des risques et de l'impact des barrières envisagées. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2009. Français. <NNT : 2009NAN10058>. <tel-01748467>
- Julien Francken. Réconciliation de données en présence d'incertitudes de modèle. Application au convertisseur à oxygène. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2010. Français. <tel-00534556>
- Angela Tursi. Ontology-Based approach for Product-Driven interoperability of enterprise production systems. Computer Science [cs]. Université Henri Poincaré - Nancy 1; Politecnico di Bari, 2009. English. <NNT : 2009NAN10086>. <tel-01748293v2>
- Gabriela Medina-Oliva. Modélisation conjointe des connaissances multi-points de vue d'un système industriel et de son système de soutien pour l'évaluation des stratégies de maintenance. Automatique / Robotique. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2011. Français. <NNT : 2011NAN10092>. <tel-01746252v2>

- Yongxin Liao. Semantic annotations for systems interoperability in a PLM environment. Computer Aided Engineering. Université de Lorraine, 2013. English. ⟨tel-00904822⟩
- Antonio Giovannini. A knowledge representation framework for the design and the evaluation of a product variety. Computer Aided Engineering. Université de Lorraine, 2015. English. ⟨tel-01109715⟩
- Silvana Pereira Detoro. A Framework for Managing Process Variability Through Process Mining and Semantic Reasoning: An Application in Healthcare. Computer Aided Engineering. Université de Lorraine; Pontifical Catholic University of Parana (PUC-PR), 2017. English. ⟨NNT : 2017LORR0310⟩. ⟨tel-01725605v2⟩
- Gabriel Leal. Decision support for interoperability readiness in networked enterprises. Computer Aided Engineering. Université de Lorraine, 2019. English. ⟨NNT : 2019LORR0001⟩. ⟨tel-02079572⟩
- Concetta Semeraro. Contribution to the formalization of data-driven invariant modelling construct of Cyber-Physical systems, 2020. English. Thèse en cotutelle de l'Université de Lorraine et du Politecnico di Bari (Italie), 10 juin 2020.
- Mickael Wajnberg. Analyse relationnelle de concepts : une méthode polyvalente d'extraction de connaissance, 2020. Thèse en cotutelle de l'Université de Lorraine et de l'Université du Québec à Montréal (Canada) Soutenance prévue le 29 juillet 2020.

Quelques articles en revue publiés par le CRAN sur les 10 dernières années

- Milan Zdravković, Hervé Panetto, Miroslav Trajanović. Concept of semantic information pool for manufacturing supply networks. International Journal of Total Quality Management and Excellence, 2010, 37 (3), pp.69-74. ⟨hal-00459453⟩
- Antonio Giovannini, Alexis Aubry, Hervé Panetto, Michele Dassisti, Hind El Haouzi. Knowledge-based system for manufacturing sustainability. 14th IFAC Symposium on Information Control problems in Manufacturing, INCOM'2012, May 2012, Bucharest, Romania. pp.1333-1338, ⟨10.3182/20120523-3-RO-2023.00383⟩. ⟨hal-00672215⟩
- Hervé Panetto, Michele Dassisti, Angela Tursi. ONTO-PDM: product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment. Advanced Engineering Informatics, Elsevier, 2012, 26 (2), pp.334-348. ⟨10.1016/j.aei.2011.12.002⟩. ⟨hal-00650352⟩
- Mario Lezoche, Esma Yahia, Alexis Aubry, Hervé Panetto, Milan Zdravković. Conceptualising and structuring semantics in Cooperative Enterprise Information Systems Models. Computers in Industry, Elsevier, 2012, 63 (8), pp.775-787. ⟨10.1016/j.compind.2012.08.006⟩. ⟨hal-00722419⟩
- Mario Lezoche, Alexis Aubry, Hervé Panetto. Formal Fact-Oriented model transformations for Cooperative Information Systems semantic conceptualisation. Enterprise Information Systems. Lecture Notes in Business Information Processing, 2012, LNBIP 102, pp.117-131. ⟨10.1007/978-3-642-29958-2_8⟩. ⟨hal-00660047⟩
- Antonio Giovannini, Alexis Aubry, Hervé Panetto, Hind El Haouzi, Ludovic Pierrel. Knowledge-based system for customer variety representation in product lines

- definition. 6th Doctoral Workshop on "Product and Asset Lifecycle Management", PALM 2014, Jan 2014, Les Diablerets, Switzerland. <hal-00905093>
- Patrick Charpentier, Andres Véjar. From spatio-temporal data to manufacturing system model a data-knowledge integration approach. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, Springer, 2014, 25 (5), pp.557-565. <10.1007/s40313-014-0133-7>. <hal-01001910>
 - Antonio Giovannini, Alexis Aubry, Hervé Panetto, Hind Bril El-Haouzi, Ludovic Pierrel, et al.. Anti-logicist framework for design-knowledge representation. *Annual Reviews in Control*, Elsevier, 2015, 39 (1), pp.144-157. <10.1016/j.arcontrol.2015.03.013>. <hal-01122807>
 - Yongxin Liao, Mario Lezoche, Hervé Panetto, Nacer Boudjlida, Eduardo Rocha Loures. Semantic annotation for knowledge explicitation in a product lifecycle management context: a survey. *Computers in Industry*, Elsevier, 2015, 71, pp.24-34. <10.1016/j.compind.2015.03.005>. <hal-01123854>
 - Antonio Giovannini, Alexis Aubry, Hervé Panetto, Hind Bril El-Haouzi, Osiris Canciglieri Junior, et al.. Knowledge representation, retrieval and reuse for product family design: an anti-logicist approach. *Computers and Industrial Engineering*, Elsevier, 2016, 101, pp.391-402. <10.1016/j.cie.2016.10.001>. <hal-01374157>
 - Mickael Wajnberg, Mario Lezoche, Blondin Alexandre Massé, Petko Valtchev, Hervé Panetto. Complex system tacit knowledge extraction trough a formal method. *INSIGHT - International Council on Systems Engineering (INCOSE)*, Wiley, 2017, 20 (4), pp.23-26. <10.1002/inst.12176>. <hal-01673069>
 - Sylvain Kubler, William Derigent, Alexandre Voisin, Jérémie Robert, Yves Le Traon, et al.. Measuring inconsistency and deriving priorities from fuzzy pairwise comparison matrices using the knowledge-based consistency index. *Knowledge-Based Systems*, Elsevier, 2018, 162, pp.147-160. <10.1016/j.knosys.2018.09.015>. <hal-01883339>
 - Michele Dassisti, Antonio Giovannini, Pasquale Merla, Michela Chimienti, Hervé Panetto. An approach to support Industry 4.0 adoption in SMEs using a core-metamodel. *Annual Reviews in Control*, Elsevier, 2019, 47, pp.266-274. <10.1016/j.arcontrol.2018.11.001>. <hal-01920242>
 - Gabriel Leal, Wided Guedria, Hervé Panetto. A semi-automated system for interoperability assessment: an ontology-based approach. *Enterprise Information Systems*, Taylor & Francis, 2020, 14 (3), pp.308-333. <10.1080/17517575.2019.1678767>. <hal-02309347>
 - Marcelo Romero, Wided Guédria, Hervé Panetto, Béatrix Barafort. Towards a characterisation of smart systems: A systematic literature review. *Computers in Industry*, Elsevier, 2020, 120:103224, <10.1016/j.compind.2020.103224>
Mario Lezoche, Hervé Panetto. Cyber-Physical Systems, a new formal paradigm to model redundancy and resiliency. *Enterprise Information Systems*, Taylor & Francis, In press, <10.1080/17517575.2018.1536807>
 - Hervé Panetto, Benoît Iung, Dmitry Ivanov, Georg Weichhart, Xiaofan Wang. Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future. *Annual Reviews in Control*, Elsevier, 2019, 47, pp.200-213. <10.1016/j.arcontrol.2019.02.002>

Références :

- Brownsword, L., Carney, D., & Oberndorf, T. (1998). The opportunities and complexities of applying commercial-off-the-shelf components. *Crosstalk*, 11(4), 4-6.
- Camarinha-Matos, L. M., & Afsarmanesh, H. (2014, October). Collaborative systems for smart environments: trends and challenges. In *Working Conference on Virtual Enterprises* (pp. 3-15). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cardin, O., Contribution à la conception, l'évaluation et l'implémentation de systèmes de production cyber-physiques. *Automatique / Robotique*. Université de Nantes, 2016. tel-01443318
- Chen, P. P. S. (1976). The entity-relationship model—toward a unified view of data. *ACM transactions on database systems (TODS)*, 1(1), 9-36.
- Džeroski, S. (2003). Multi-relational data mining: an introduction. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 5(1), 1-16.
- Fisher, D. A. (2006). An emergent perspective on interoperation in systems of systems (No. CMU/SEI-2006-TR-003). *CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST.*
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering*, 1(4), 267-284.
- Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge university press.
- Miller, E. (1998). An introduction to the resource description framework. *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology*, 25(1), 15-19.
- Morel, G., Panetto, H., Zaremba, M., & Mayer, F. (2003). Manufacturing enterprise control and management system engineering: paradigms and open issues. *Annual reviews in Control*, 27(2), 199-209.
- Priss, U. (2006). Formal concept analysis in information science. *Annual review of information science and technology*, 40(1), 521-543.
- Ramos, A. L., Ferreira, J. V., & Barceló, J. (2011). Model-based systems engineering: An emerging approach for modern systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(1), 101-111.
- Ristoski, P., & Paulheim, H. (2016, October). Rdf2vec: Rdf graph embeddings for data mining. In *International Semantic Web Conference* (pp. 498-514). Springer, Cham.
- Rouane-Hacene, M., Huchard, M., Napoli, A., & Valtchev, P. (2013). Relational concept analysis: mining concept lattices from multi-relational data. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 67(1), 81-108.
- Wille, R. (2009, May). Restructuring lattice theory: an approach based on hierarchies of concepts. In *International Conference on Formal Concept Analysis* (pp. 314-339). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zdravković, M., Trajanović, M., Sarraipa, J., Jardim-Gonçalves, R., Lezoche, M., Aubry, A., & Panetto, H. (2016, February). Survey of Internet-of-Things platforms.