

***Développement des Systèmes de Systèmes Produits et Services -  
Approches de Caractérisation, Modélisation, et Analyse - Application  
dans l'industrie automobile en vue de nouvelles solutions de mobilité***

***Product Service Systems of Systems Development  
Characterization, Modeling, and Analysis Approaches Application in the  
automotive industry in view of new mobility solutions***

par Sarra FAKHFAKH

***Résumé de thèse***

Doctorat d'Ingénierie des Systèmes Complexes

Laboratoire Génie Industriel - CentraleSupélec

N° 2020 – .06.

## Thèse soutenue le 14 décembre 2020 à CentraleSupélec

### Devant le jury composé de :

**Michael KOKKOLARAS**

Professeur, McGill University

**Examineur**

**Alain BERNARD**

Professeur, Ecole Centrale de Nantes, LS2N UMR CNRS

**Rapporteur**

**David WYNN**

Senior Lecturer in Mechanical Engineering, The University of Auckland

**Rapporteur**

**Jakob PUCHINGER**

Professeur, Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, LGI

**Examineur**

**Marija Jankovic**

Professeur, CentraleSupélec

**Directrice de thèse**

**Andreas Makoto Hein**

Chercheur, CentraleSupélec

**Co-encadrant**

**Yann CHAZAL**

Expert Systèmes de Systèmes, Groupe Renault

**Invité**

**Alain DAURON**

Expert Leader Ingénierie des Systèmes, Groupe Renault

**Invité**

### Résumé:

Les nouvelles solutions de mobilité sont motivées par les progrès technologiques et l'intérêt de répondre aux besoins des individus et de la société. Que ce soit par la connectivité ou l'électrification, la technologie a rendu les véhicules plus complexes à mesure qu'ils interagissaient avec d'autres systèmes de leur environnement. Parallèlement, alors que la société et les individus s'orientent vers des modes de vie plus durables, la possession d'une voiture est remplacée par d'autres solutions (par exemple, les services de location de voitures entre pairs) dont la valeur est accrue en offrant des services en même temps que les produits manufacturés ; un phénomène appelé "servicisation". La complexité croissante et la servicisation des systèmes de mobilité constituent un défi pour l'industrie manufacturière.

Du point de vue de la recherche, la complexité croissante et la servicisation sont étudiées séparément en tant que systèmes de systèmes et systèmes de services de produits, respectivement.

Ce doctorat vise à donner un aperçu des phénomènes concomitants de complexité croissante et de servicisation et porte sur les "systèmes de systèmes produits-services" (PSSoS). Tout d'abord, un cadre de caractérisation des PSSoS a été proposé. Ensuite, une ontologie qui traite des PSSoS a été développée. Troisièmement, une approche d'analyser de l'implication et l'influence des parties prenantes des PSSoS a été proposée. Une autre étude se concentre sur la nature évolutive des PSSoS et analyse les défaillances fonctionnelles et la propagation des changements dans les PSSoS. Les contributions proposées sont validées par les retours d'experts et des études de cas.

### Mots clés :

Systèmes de produits et services, Systèmes de Systèmes, Systèmes de Systèmes de Produits et Services, Réseaux d'acteurs, Ontologie, Réseaux

**Abstract:**

New mobility solutions are driven by technological advances and the interest in meeting individuals' and society's needs. Whether it is through connectivity or electrification, technology made vehicles increasingly complex as they interact with other systems in their environment. Meanwhile, as society and people move towards more sustainable lifestyles, car ownership is being replaced by other solutions (e.g., peer to peer car rental services) where the value is increased by offering services along with manufactured products; a phenomenon referred to as servitization. The increasing complexity and servitization of mobility systems are challenging for the manufacturing industry. From a research perspective, the increasing complexity and servitization are studied separately as Systems of Systems and Product Service Systems, respectively. This Ph.D. aims to provide insights on the concomitant increasing complexity and servitization phenomena and is concerned with "Product-Service Systems of Systems" (PSSoSs). First, a PSSoS characterization framework has been proposed. Second, an ontology has been developed. Third, an analysis approach has been suggested to analyze PSSoS stakeholder involvement and importance. An additional study focuses on the evolutionary nature of PSSoSs and analyses functional failure and change propagation in PSSoSs. The proposed contributions are validated through experts' feedbacks and case studies.

**Key words:**

Product Service Systems, Systems of Systems, Product Service Systems of Systems, Stakeholders, Ontology, Networks

## ***L'Ecole Doctorale Interfaces de l'Université Paris-Saclay***

L'Ecole Doctorale **INTERFACES - Approches interdisciplinaires: fondements, applications et innovations** rassemble des équipes dont les sujets de recherche se caractérisent par un positionnement principalement au **croisement de plusieurs disciplines** : la physique, la chimie, la biologie, mais également les mathématiques appliquées ou l'informatique.

L'ED Interfaces est co-opérée par 4 établissements de l'Université Paris-Saclay : Ecole Polytechnique, Université de Versailles - Saint-Quentin, CentraleSupélec, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées.

### ***Le Laboratoire Génie Industriel***

Le Génie Industriel se donne comme **défi scientifique** de "**maîtriser la conception et le management des systèmes complexes**".

- Maîtriser c'est modéliser, simuler, optimiser, dimensionner, spécifier ...
- La conception est traitée en terme de faisabilité, utilité, utilisabilité, opérabilité, maintenabilité
- Le management est vu sous ses aspects performance, création de valeurs, risques, sûreté de fonctionnement, métriques

Les systèmes complexes abordés sont indifféremment des systèmes techniques, organisationnels, opérationnels, informationnels, décisionnels, tactiques, stratégiques

Le Laboratoire s'organise en quatre équipes de recherche :

↪ **Equipe DE : Design Engineering**

↪ **Equipe OM: Operations Management for production and distribution systems of goods and services**

↪ **Equipe SR : Safety & Risks**

↪ **Equipe SE : Sustainable Economy**

Les thèses se font principalement dans l'un des domaines scientifiques relatifs à une équipe, même s'il peut arriver qu'elles se fassent transversalement à ces dernières. C'est la complexité des approches (robust-design, axiomatic-design, approche systémique, recherche opérationnelle, modèles stochastiques, évaluation des performances ...) qui fait la force, la performance et l'originalité du Laboratoire.