

	<i>ANR RegEcoS : Écosystème de Régénération de produits basé sur leurs usages</i>			
				
				

## *Aide à la décision de régénération à base d'un écosystème de jumeaux numériques*

### **Contexte du travail de thèse**

Les industries manufacturières européennes doivent faire face, ces dernières années, pour fabriquer leurs produits à destination des clients à plusieurs problèmes liés à l'approvisionnement en matières premières, relevant d'une part de causes environnementales et d'autre part de causes géopolitiques. Pour les problématiques environnementales, de nombreuses études socio-économiques montrent que les ressources naturelles s'épuisent et que nos modes de consommation produisent de grandes quantités de déchets qui détériorent notre environnement et induisent le changement climatique [3][11][12]. D'un point de vue sociétal, les changements de comportement sur les modes de consommation et d'usage devraient être drastiques pour avoir des effets rapides et positifs sur l'environnement et donc ils ne peuvent pas être le seul levier d'action. Pour les aspects géopolitiques, la crise sanitaire liée au Covid, et les conflits en cours montrent que l'Europe a mondialisé une trop grande partie de ses approvisionnements en matières premières, ce qui la rend vulnérable en période de crise. Pour répondre à cela, les gouvernements au niveau national et européen mettent en place des lois pour inciter les entreprises à mettre en place des processus de revalorisation de leurs produits déjà vendus. Ainsi, Décathlon doit mettre en place des dispositifs pour répondre à la loi AGECE de février 2020 permettant la régénération des équipements sportifs en fin d'utilisation. Une piste d'action sur le long terme, face à ce challenge de revalorisation, est la mise en œuvre de l'économie circulaire [13] qui se focalise sur notre manière de produire, d'utiliser et de mieux revaloriser les produits à la fin de leur phase d'utilisation, afin de consommer moins d'énergie et moins de matières premières [6]. Cela impose de concevoir conjointement un produit et l'écosystème industriel et informationnel pour rendre ce produit plus robuste, capable de durer plus longtemps, d'être maintenu et d'envisager plusieurs cycles d'usages [4][8][9].

### **Contexte et problème industriel**

Dans ce contexte, les trois laboratoires : CRAN, IMS et G-SCOP ont mis en place le projet RegEcoS qui vise à apporter des réponses à ce challenge sociétal mais également scientifique en développant des méthodes, modèles et outils adaptés à l'industrialisation de la régénération des produits en fin d'utilisation. Toutes les possibilités (reuse, remanufacturing, recycling, ...) permettant de revaloriser un produit après son utilisation et ainsi repousser sa fin de vie, sont regroupées sous le terme de régénération [7]. La régénération impose une vision globale et intégrée de la revalorisation (en opposition à une vision classique très segmentée et locale), transversale au cycle de vie du produit, puisqu'elle peut être envisagée plusieurs fois dans la vie d'un même produit et de tout ou partie de ses sous-ensembles, composants. La régénération ne peut être abordée comme un processus de production classique, du fait de la spécificité du flux de produits traités (déchets, flux non constants en quantité et qualité), des informations disponibles pour prendre la décision (natures hétérogènes, incomplètes, incertaines, ...) et de l'effet escompté de la régénération, dépendant de l'état de santé du produit à la fin de son utilisation et de la demande du marché. De plus, pour envisager plusieurs phases de régénération dans la vie d'un produit, celui-ci doit présenter des aptitudes à la régénération et doit être conçu pour la régénération (Design for Regeneration). D'autre part, le processus de régénération qui interviendra, plus tard et à plusieurs reprises dans la vie d'un produit, doit être adapté, dimensionné selon les spécificités du produit et des besoins du marché.

### **Verrous scientifiques**

Pour répondre à ces problématiques, trois verrous scientifiques majeurs ont été isolés par le projet RegEcoS : (Verrou 1) Nécessité d'intégrer tous les paramètres de l'écosystème des produits dès leur conception conjointement au processus de régénération, pour favoriser la mise en œuvre des meilleures alternatives de régénération possibles tout

	<i>ANR RegEcoS : Écosystème de Régénération de produits basé sur leurs usages</i>			
				
				

au long de la vie du produit [10][5] ; (Verrou 2) Manque d'une approche d'aide à la décision de la stratégie de régénération basée sur des sources d'informations hétérogènes, incomplètes et incertaines, provenant de phases de vie différentes et de différents processus [1][5][6][14] ; (Verrou 3) Nécessité de remonter, capitaliser de l'information sur l'ensemble des phases de vie d'un produit et en particulier son utilisation (conditions opérationnelles, contraintes, etc.) pour pouvoir anticiper ses usages ultérieurs [10]. Face à ces verrous, le projet RegEcoS a pour objectif de proposer une méthodologie pour la conception intégrée d'un produit et de son écosystème de régénération. L'écosystème de régénération regroupe les supports au suivi de l'usage d'un produit durant son utilisation (jumeaux numériques), et les méthodes pour aider à la décision de régénération, en vue de prolonger la durée de vie du produit.

### **Objectifs de recherche**

Ce sujet de thèse porte sur le verrou 3, c'est-à-dire le développement d'un écosystème de jumeaux numériques produit-flotte-processus adapté à la conduite du cycle de vie du produit dans le cadre d'une économie circulaire. Il s'agit de concevoir : (i) un jumeau numérique produit qui apporte une vision dynamique spécifique à chaque produit, (ii) un jumeau numérique flotte pour suivre l'évolution concomitante produit-flotte et caractériser à une échelle holistique les données et la dynamique propre à la flotte qui ne se reflètent pas au niveau du seul produit, et enfin (iii) un jumeau numérique processus, pour avoir une vision des processus en cours dans le cycle de vie du produit. L'ingénierie de ces jumeaux numériques nécessitera une modélisation générique à la fois du comportement du processus de régénération et du comportement de l'évolution du produit dans la phase de vie « Régénération ». Comme ces différents jumeaux numériques seront porteurs à la fois de données caractéristiques (états successifs) mais aussi de la dynamique des processus mis en jeu (durée des états et transitions d'états), une approche multi-agents est envisagée, où les attributs des agents permettraient de coder les données caractéristiques, et les comportements des agents exprimeraient la dynamique des processus. L'avantage des modèles multi-agents est de pouvoir encapsuler des spécifications hétérogènes multi-échelles et multi-physiques (événements discrets, automates, et équations différentielles par diagramme stock-flux), et de se coupler facilement avec des bases de données (stockant des données historiques).

### **Plan d'actions**

Pour mener à bien ses objectifs de thèse, le plan suivant sera suivi :

- État de l'art sur les chaînes de valeur de régénération, les indicateurs de performance, et l'aide à la décision de régénération
- Etat de l'art sur l'approche jumeau numérique
- Proposition d'une approche d'ingénierie de l'écosystème de jumeaux numériques (produit, flotte, processus) pour l'aide à la décision de régénération.
- Application à deux études de cas : l'une académique – la plateforme ProGreSS4.0 [1], et l'autre industrielle proposée par le partenaire Décathlon.

### **Références**

- [1] Alamarew, Y.A., Kambanous, M.L., Sakao, T., Brissaud, 2020. D. A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies. Sustainability, Vol. 12, no. 12, p. 5129.
- [2] Aubry A., Derigent W., Gouyon D., **Levrat E.**, **Marangé P.**, 2019. ProGreSS 4.0 : une plateforme pour l'enseignement de l'industrie du futur et pour la recherche associée. 16<sup>ème</sup> colloque national S-mart/AIP-PRIMECA, Apr 2019, Les Karellis, France.

	<i>ANR RegEcoS : Écosystème de Régénération de produits basé sur leurs usages</i>			
				
				

- [3] Babbitt, C.W., Gaustad, G., Fisher, A., Chen, W.Q., Liu, G., 2018. Closing the loop on circular economy research: from theory to practice and back again. *Resour. Conserv. Recycl.* Vol. 135, n°1–2.
- [4] Bauer, T., **Zwolinski, P.**, Nasr, N., 2020. Characterization of circular strategies to better design circular industrial systems. *Journal of Remanufacturing*, vol. 10, p. 161-176.
- [5] Bentaha M-L, **Marangé P.**, Voisin A., Moalla, N. End of Life product quality management for efficient design of disassembly lines under uncertainty. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, In press, (10.1080/00207543.2022.2028199).
- [6] Bentaha, M. L., Voisin, A., **Marangé, P.**, 2020. A decision tool for disassembly process planning under end-of-life product quality. *International Journal of Production Economics*, Vol. 219, 386-401.
- [7] Diez, L., **Marangé, P. and Levrat, É.**, 2016. Maintenance best way for meeting the challenge of regeneration', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., 49(28), pp. 49–54. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.009.
- [8] Evrard, D., **Ben Rejeb, H., Zwolinski, P.**, Brissaud, D., 2021. Designing Immortal Products: A Lifecycle Scenario-Based Approach. *Sustainability*, MDPI, 13 (6), pp.3574.
- [9] Go, T.F, Wahab, D.A., Hishamuddin, H., 2015. Multiple generation life-cycles for product sustainability: the way forward. *Journal of Cleaner Production*, vol. 95, p. 16-29.
- [10] Grieves, M., 2005. Product Lifecycle Management: the new paradigm for enterprises. *Int. J. Product Development*, 2 (Nos. 1/2), 71-84.
- [11] Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Lafcu, C., 2021. Exploring barriers to smart and sustainable circular economy: The case of an automotive eco-cluster. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 314, 127920.
- [12] Nobre, G.C., Tavares, E., 2021. The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*, p. 127973.
- [13] **Traoré M.K.** 2021. Unifying Digital Twin Framework: Simulation-Based Proof-of-Concept. In *Proceedings of the 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing– June 7-9, Budapest, Hungary*.
- [14] Vanson, G., **Marangé, P. & Levrat, E.**, 2022. End-of-Life Decision making in circular economy using generalized colored stochastic Petri nets. *Auton. Intell. Syst.* Vol. 2, n°3.

### Informations sur la thèse

**Partenaires dans le cadre de l'ANR RegEcoS : CRAN, G-SCOP, IMS et Décathlon**

**Cette thèse est une cotutelle entre IMS et G-SCOP**

**Localisation :** Bordeaux (localisation principale) – Grenoble

**Date de début de thèse :** Septembre 2023

**Salaire Net :** environ 1800€.

**Profil recherché :** le candidat doit avoir un Master en génie industriel ou informatique ou équivalent. La capacité à se positionner à l'interface entre science des données, modélisation et simulation, (économie circulaire) est indispensable.

**Skills professionnels :** autonomie, capacités rédactionnelles, bon niveau en anglais, motivé par les actions de recherche autour du développement durable.

**Contenu du dossier :** CV, lettre de motivation, Synthèse du travail de Master, relevés de notes de Master, tous autres documents pouvant appuyer votre motivation pour la thèse.

**Date limite pour déposer votre candidature : 9 juin 2023 à 12h**

**Date de réponse pour audition le 13 juin 2023**

**Date d'audition : 16 juin 2023**

**Contacts :**

Pascale Marangé , Maitre de conférences à l'Université de Lorraine, [pascale.marange@univ-lorraine.fr](mailto:pascale.marange@univ-lorraine.fr)

Mamadou Kaba Traoré, Professeur à l'Université de Bordeaux , [mamadou-kaba.traore@u-bordeaux.fr](mailto:mamadou-kaba.traore@u-bordeaux.fr)

Helmi Ben Rejeb, Maitre de conférences à l'Université de Grenoble, [helmi.benrejeb@grenoble-inp.fr](mailto:helmi.benrejeb@grenoble-inp.fr)