



Demande de financement Bourse ministérielle 2020-2023

## **Sujet de thèse : Caractérisation de l'état de santé de produits-déchets pour le management du processus de régénération de déchets**

### **Laboratoire d'accueil**

Département Ingénierie des Systèmes Eco-Techniques (ISET)  
CRAN, UMR 7039 Université de Lorraine - CNRS  
Campus scientifique, BP 70239, 54506, Vandœuvre-lès-Nancy

### **Directeurs de recherche**

Dr. Pascale MARANGE, Université de Lorraine, [pascale.marange@univ-lorraine.fr](mailto:pascale.marange@univ-lorraine.fr)  
Pr. Eric LEVRAT, Université de Lorraine, [eric.levrat@univ-lorraine.fr](mailto:eric.levrat@univ-lorraine.fr)

### **Contexte du sujet :**

Ces dernières années, les entreprises cherchent à se mettre en conformité avec les exigences de développement durable en contribuant à une économie circulaire. Les objectifs de l'économie circulaire sont d'une part de produire des biens et service tout en limitant fortement la consommation et le gaspillage des matières premières, et des sources d'énergies non renouvelables et d'autre part de refermer le cycle de vie des produits, des déchets, des matériaux et de l'énergie, pour être réutilisés. S'inscrivant dans ce contexte, la stratégie de l'écologie industrielle [1] part du principe que la durabilité est due à la cyclicité des écosystèmes.

Le contexte associé à l'industrie 4.0 est un contexte où la demande du client se caractérise par un fort besoin de personnalisation des produits dans des délais très courts : on parle de personnalisation de masse. De plus, la durée de vie utile des produits tend à diminuer notamment par les effets de mode. Associé à ce constat, la prise de conscience de la raréfaction des ressources et de l'augmentation des déchets, rend le besoin de systèmes de production éco-responsables de plus en plus prégnants. Ainsi, pour valoriser les énormes gisements de produits (grand public ou industriels) en fin de vie, il est important de proposer des solutions plus performantes que la simple valorisation matière. D'autres chaînes de valorisation des produits en fin de vie ou obsolètes, peuvent être envisagées grâce à une industrialisation du processus de régénération telle qu'on peut le voir émerger dans les domaines de la téléphonie mobile ou de l'automobile par exemple, induites par la loi sur la transition énergétique de 2015.

La Régénération [2] peut être définie comme un ensemble d'actions, naturelles ou techniques, permettant de redonner un état jugé acceptable (fonctionnel et opérationnel) au produit régénéré [3][4]. Nous avons mené des premiers travaux dans le cadre de la thèse de L. Diez qui a formalisé les activités de régénération[5].

Afin que la régénération soit la plus performante, il est nécessaire de créer un écosystème entre les trois parties prenantes : fournisseurs de produits\_déchets, régénérateurs et consommateurs de produits-régénérés. Cet écosystème peut fonctionner selon deux modes : flux poussés ou flux tirés de produits\_déchets. Dans le premier cas du flux poussé, les

### Demande de financement Bourse ministérielle 2020-2023

produits\_déchets peuvent arriver à tout instant chez les régénérateurs, qui doivent ensuite les régénérer pour répondre aux besoins formulés par leurs clients. Bien que ce mode soit le plus utilisé, il y a deux difficultés majeures : (i) des difficultés à être fournis en temps, en qualité et en quantité constantes, (ii) des difficultés à écouler des stocks de produits\_nutriments non demandés à un instant. Pour répondre à ces difficultés, il est possible de passer en flux tiré où les régénérateurs reçoivent des besoins des clients et ils vont rechercher des fournisseurs voire imposer des exigences sur les produits-déchets à récupérer.

#### **Problématique de la thèse et questions scientifiques :**

Dans le cadre de cette thèse, nous cherchons à aider les régénérateurs/producteurs à définir le processus de régénération et plus spécifiquement les alternatives possibles de régénération à mettre en place en fonction de l'état de santé des produits\_déchets. Pour cela plusieurs questions se posent :

- Quels sont les critères qui spécifient un état de santé d'un produit\_déchet en vue d'être régénéré ?
  - Quelles sont les informations utiles à récupérer sur les différentes phases de vie du produit à régénérer ?
  - Comment établir l'état de santé du produit à partir de l'état de santé des sous-ensembles ou des composants ? et inversement, comment projeter l'état de santé des sous-ensembles ou des composants à partir de l'état de santé du produit-déchets et des étapes du processus de régénération ?
- Comment déterminer les différentes alternatives de régénération selon l'état de santé des produits\_déchets ?
  - Quelles sont les différentes actions possibles chez les régénérateurs ?
  - Quels sont les critères d'évaluation d'une action de régénération ?
  - Quelles sont les différentes alternatives possibles de régénération d'un produit déchet ?
  - Comment évaluer l'impact d'une alternative sur les flux de production / régénération ? Comment évaluer économiquement des alternatives de régénération ?

#### **Démarches et verrous scientifiques :**

Afin de répondre aux questions identifiées, les travaux menés dans cette thèse porteront sur les points suivants :

- *Identifier et quantifier/qualifier l'état de santé des produits déchets* : La définition d'une solution de régénération va utiliser en entrée l'état de santé de produits-déchets. Il s'agit de définir les composantes de l'état de santé de produits-déchets composés de différents sous-ensembles et composants, ayant chacun un état de santé propre. Les travaux du projet SdF-PHM2 sur l'état de santé de moyens de production seront exploités et adaptés à la problématique.
- *Identifier et quantifier/qualifier les propriétés des actions de régénération* : La régénération se compose de plusieurs actions : plusieurs diagnostics à différents

Demande de financement Bourse ministérielle 2020-2023

niveaux, décomposition du produits-déchets et recombinaison en produits régénérés. Pour chaque étape, il est nécessaire de spécifier chacune d'entre elles et de spécifier les critères qui permettront de comparer les différentes alternatives.

- *Modéliser les transformations subies par le produit-déchet lors de la régénération pour proposer une approche d'évaluation des alternatives de régénération.* Afin de choisir une solution de régénération, il est nécessaire de modéliser l'impact du choix de décomposition sur le choix de recombinaison [6]. Cette modélisation devra présenter (i) les hypothèses sur l'état de santé des sous-ensembles (probabilité de ce qu'on pense trouver au niveau n-1), (ii) les interactions entre les modèles. Les outils envisagés automates stochastiques, vérification formelle

Cette thèse s'intègre dans la réflexion actuelle de de la plateforme PROGRESS 4.0 que nous souhaitons mettre en place à l'AIPL. Cette plateforme servira d'étude de cas.

### **Références**

[1] Ayres, R. U., Ayres, L. W. (2002). A Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar. ISBN : 978-1840645064

[2] Ellen MacArthur Foundation (2012). Report Vol.1 - Towards the Circular Economy - Economic and business rationale for an accelerate transition. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/business/reports/ce2012>

[3] M. A. Ilgin, S. M. Gupta, Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, Journal of Environmental Management 91 (3) (2010) 563-591.

[4] R. Steinhilper, F. Weiland, Exploring new horizons for remanufacturing an up-to-date overview of industries, products and technologies, Procedia CIRP 29 (2015) pp769-773, the 22nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering

[5] L. Diez. « Apport de la maintenance prévisionnelle au paradigme de régénération industrielle ». Thèse de doctorat. Université de Lorraine, 2017.

[6] M.L. Bentaha, A. Voisin, P. Marangé, « A decision tool for disassembly process planning under end-of-life product quality », International Journal of Production Economics, vol. 219, pp 386 - 401, 2020,