

# PENSER LA RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE POUR RÉPONDRE EN PARTIE À L'OBSOLESCENCE

*CRAN – Centre de Recherche en Automatique de Nancy  
Pascale Marangé, Eric Levrat*

*Doctorants : L. Diez, G. Vanson, A. Sqhairat, M. Sautereau*

*Mail : [pascale.marange@univ-lorraine.fr](mailto:pascale.marange@univ-lorraine.fr) et [eric.levrat@univ-lorraine.fr](mailto:eric.levrat@univ-lorraine.fr)*

ISSET



UMR 7039



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

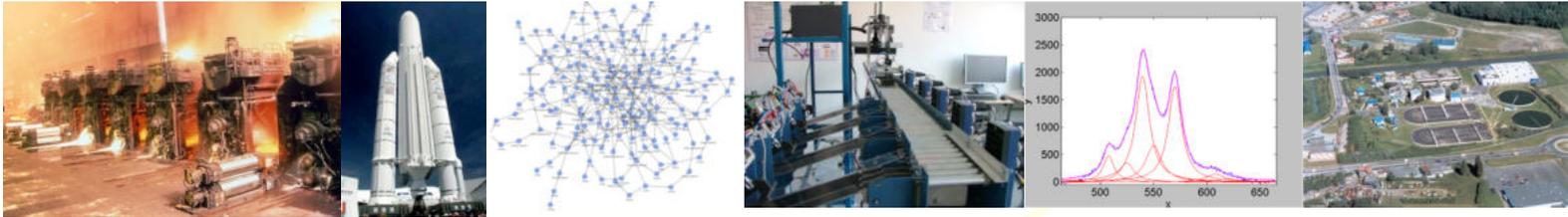
# PLAN

- **Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- **Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques**
- **Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération**
- **Projets en cours sur le sujet**
- **Conclusions et perspectives**

# PLAN

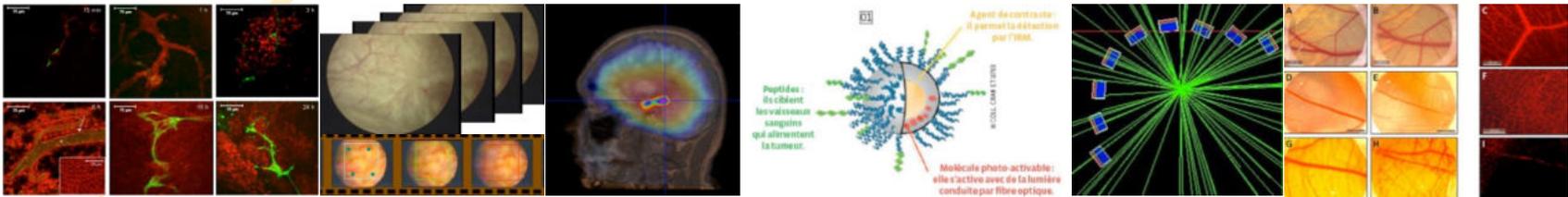
- C Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- C Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques
- C Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération
- C Projets en cours sur le sujet
- C Conclusions et perspectives

# LE CRAN ...



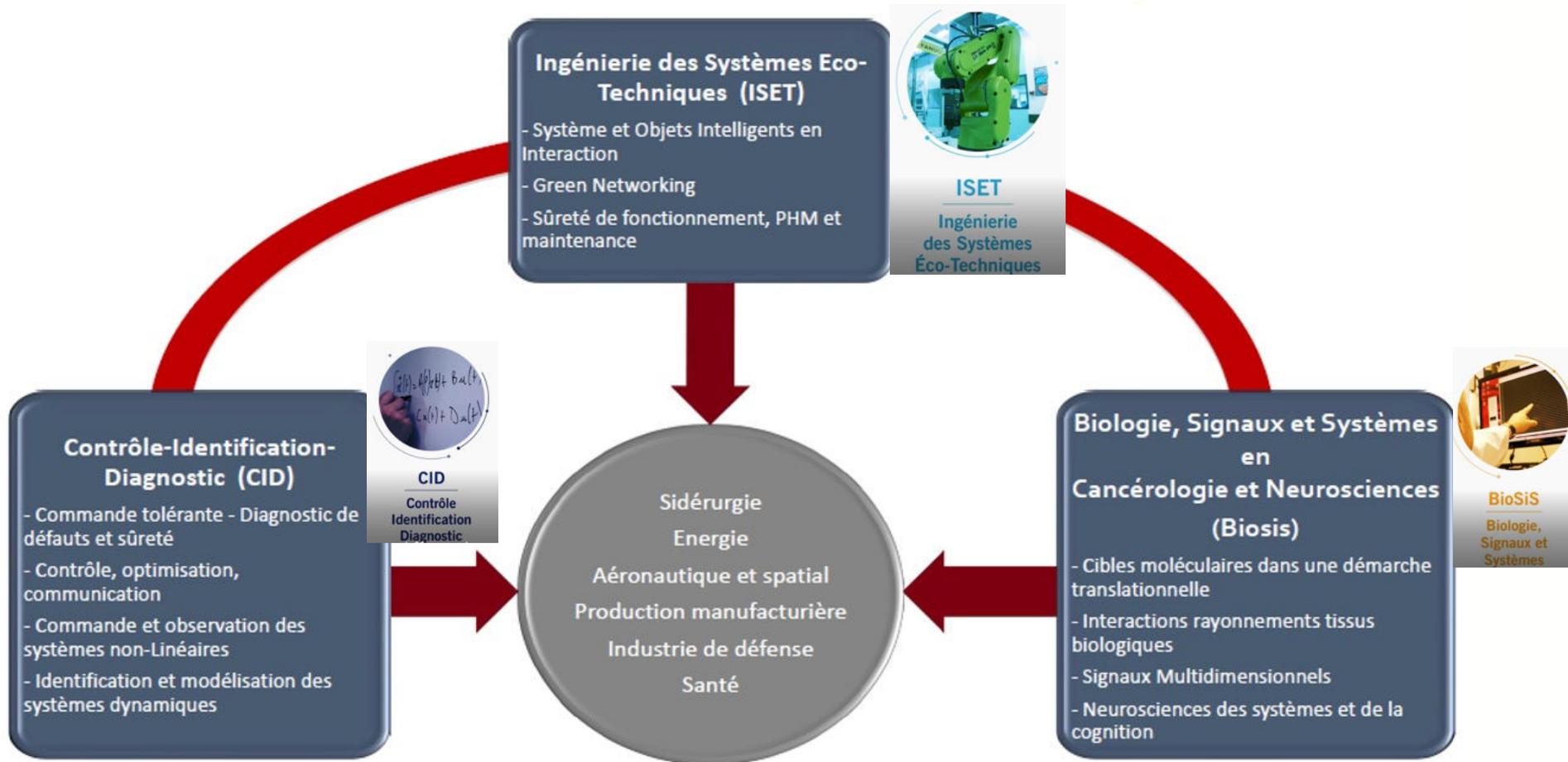
## C ... une recherche pour améliorer les connaissances et les méthodologies

- C Pour la **modélisation et le contrôle des systèmes dynamiques**, qu'ils soient techniques, naturels ou vivants.
- C Pour les domaines scientifiques tels que **l'automatique, le traitement du signal, l'ingénierie des systèmes, l'ingénierie de la fabrication (usine du futur), la cancérologie, la neurologie, ...**
- C Pour la promotion de **recherches transversales et intégratrices afin d'améliorer la fiabilité-sécurité des systèmes/objets industriels, le diagnostic médical et la thérapie via l'ingénierie de la santé ...**



# LE CRAN ...

## C ... 3 départements



# LE DÉPARTEMENT ISET

- **ISystèmeET** : Ensemble d'éléments/constituants en interaction dynamique, organisé en vue d'accomplir certains buts.
- Les systèmes d'intérêts étudiés dans ce département sont majoritairement des **Systèmes (Dynamiques et Complexes) à Evénements Discrets** relevant des domaines applicatifs de l'industrie, des réseaux de communication, du bâtiment et de l'énergie.



- **ISEco-Technique** : Par le préfixe « éco », ces systèmes adressent des enjeux sociétaux forts faisant interagir et interopérer des constituants de **natures différentes Humaine, Technique et Environnementale**, pour former un tout cohérent.
- **Ingénierie SystèmeET**: « Système » est ainsi à comprendre à la fois en tant **qu'objet de recherche intégrant des technologies numériques de l'industrie du futur** (systèmes cyber-physiques voire systèmes cyber-physiques de production) mais aussi comme une **approche de modélisation (ingénierie système) prônant une vision intégrative**.

# LE DÉPARTEMENT ISET

## *Les enjeux du département ISET par rapport à l'industrie du futur*

4- Objets connectés pour les actifs et les entreprises dans les réseaux d'approvisionnement ; modèles d'usine intégrés pour les systèmes de fabrication évolutifs.

2- Intégration des méthodes et outils de conception

**GESTION INTERACTIVE DE DONNÉES SUR UN CYCLE DE VIE MULTI-ACTEURS**

1- Suivi, perception et sensibilisation en matière de fabrication



5- Applications de "fin de vie" (EoL) dans un réseau d'acteurs de la revalorisation

**INDICATEURS DE FIN DE VIE (QUALITÉ ET PERFORMANCE DES PRODUITS)  
SANTÉ DURABLE  
RÉGÉNÉRATION DES PRODUITS (RECYCLAGE, REMANUFACTURATION, ETC.)**

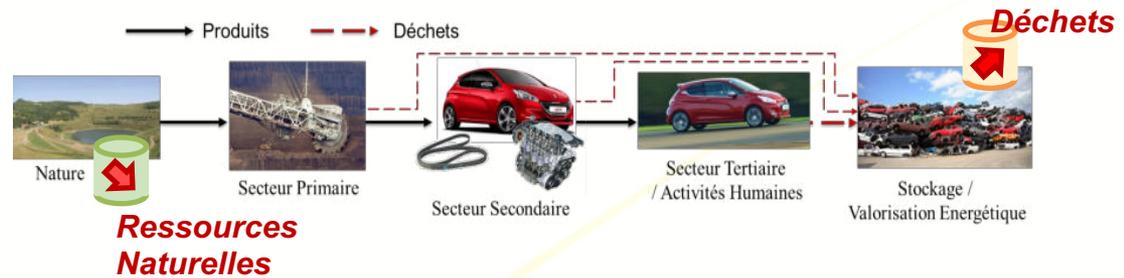
3- Des systèmes de maintenance intelligents pour une fiabilité accrue des systèmes de production

# PLAN

- C Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- C Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques**
- C Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération
- C Projets en cours sur le sujet
- C Conclusions et perspectives

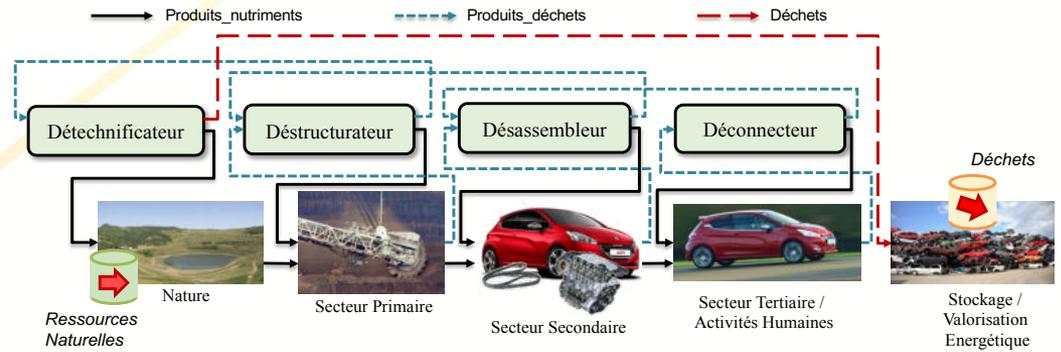
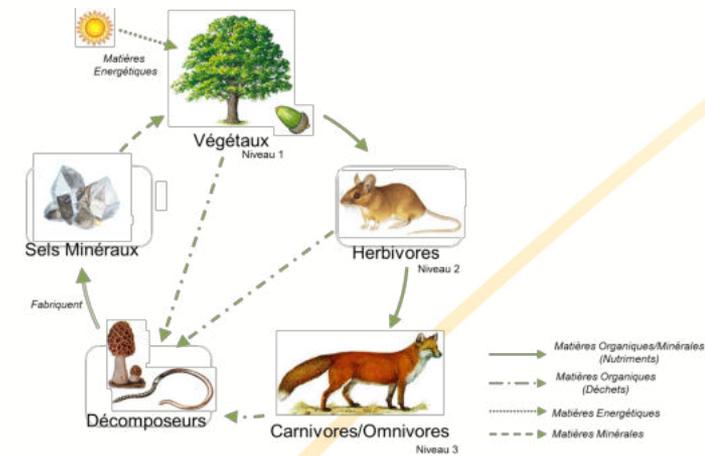
# RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE - CONTEXTE

## C Constat actuel :

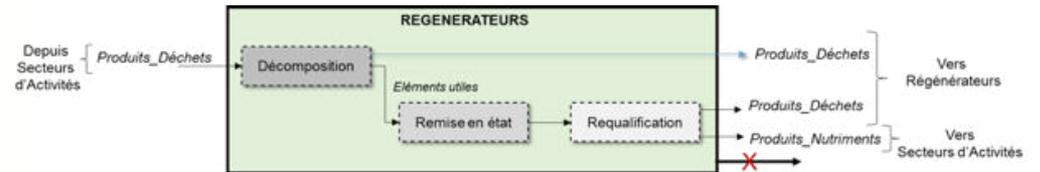


## C Par bio-inspiration :

### Réseaux entre les producteurs de déchets et les régénérateurs



### Fonctionnalités des régénérateurs



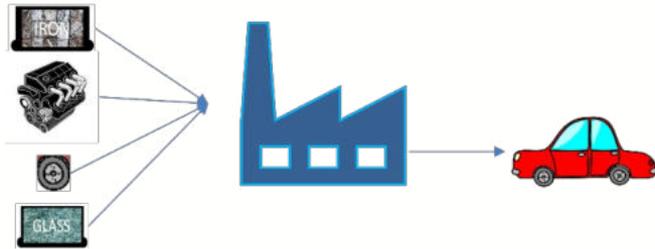
# RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE - CONTEXTE

**Problème : Industries manufacturières européennes font face à problèmes liés à l'approvisionnement en matières premières, relevant de causes :**

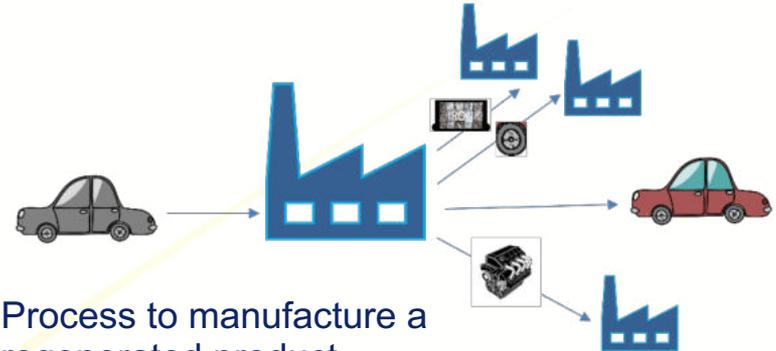
- **Environnementales : Nombreuses études socio-économiques montrent que les ressources naturelles s'épuisent et que nos modes de consommation produisent de grandes quantités de déchets.**
- **Sociétales : Changements de comportement sur les modes de consommation et d'usage devraient être drastiques pour avoir des effets sur l'environnement et donc ils ne peuvent pas être le seul levier d'action.**
- **Géopolitiques : la crise sanitaire liée au Covid, et les conflits actuellement en cours montrent que l'Europe a mondialisé une trop grande partie de ses approvisionnements en matières premières.**

**Piste d'action : Mise en œuvre de l'économie circulaire qui se focalise sur notre manière de produire, d'utiliser et de mieux revaloriser les produits à la fin de leur phase d'utilisation → Industrialiser la régénération en Europe**

# RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE - PROBLÈMES



Process to manufacture a new product



Process to manufacture a regenerated product

## C En phase de régénération :

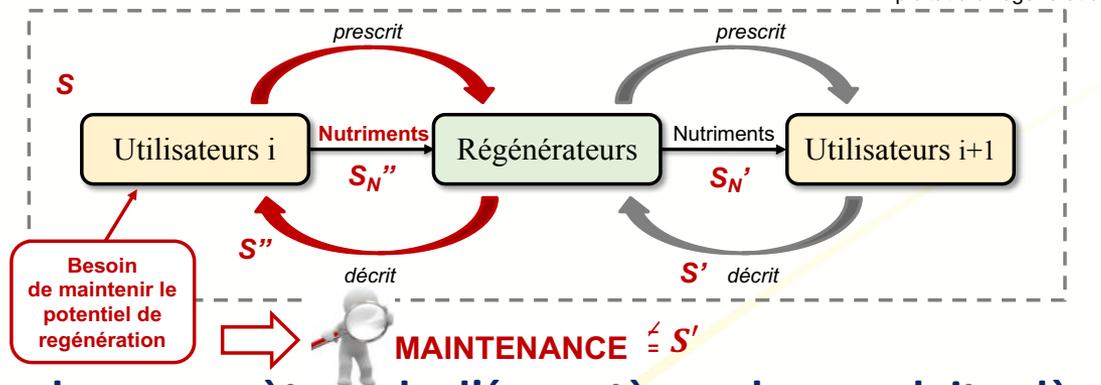
- C Plusieurs processus de régénération à différents niveaux (produit, sous-ensemble, composant).
- C Nécessité de prendre des décisions pour choisir les trajectoires de régénération du produit
- C Peu d'information sur l'état de santé du produit (DONNEES DU PRODUIT)
- C La régénération dépend du MARCHÉ (Y a-t-il une demande pour un produit régénéré ?)
- C Les activités de régénération sont incertaines (PROCESSUS INCERTAIN : pas de visibilité sur l'état des composants internes) et doivent prendre compte l'ensemble du cycle de vie (manufacturiers, logistique, ...)
- C Comment régénérer un produit pour un cycle de vie multiple (plusieurs boucles de régénération) ?

## C En phase d'utilisation :

- C Pas de connaissance de l'utilisation et de l'état du produit.

**HYPOTHÈSE FORTE : L'INFORMATION SUR LE PRODUIT, L'ÉCOSYSTÈME (PRODUCTEUR, RÉGÉNÉRATEUR, UTILISATEUR) EST ACCESSIBLE ET NE CRÉE PAS DE NOUVEAUX DÉCHETS**

# RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE - PROBLÉMATIQUES SCIENTIFIQUES



1. 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 au long de la vie du produit,
  2. Proposer 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,
  3. Remonter, capitaliser de l'information sur l'ensemble des phases de vie d'un produit et en particulier son utilisation (conditions opérationnelles, contraintes, ...) pour pouvoir anticiper ses usages ultérieurs.
- C **Objectifs :** Proposer une méthodologie pour la conception intégrée d'un produit et de son écosystème de régénération : supports au suivi de l'usage d'un produit durant son utilisation (système d'information, jumeau numérique...), et les méthodes pour aider à la décision de régénération, en vue de prolonger la durée de vie du produit.

# PLAN

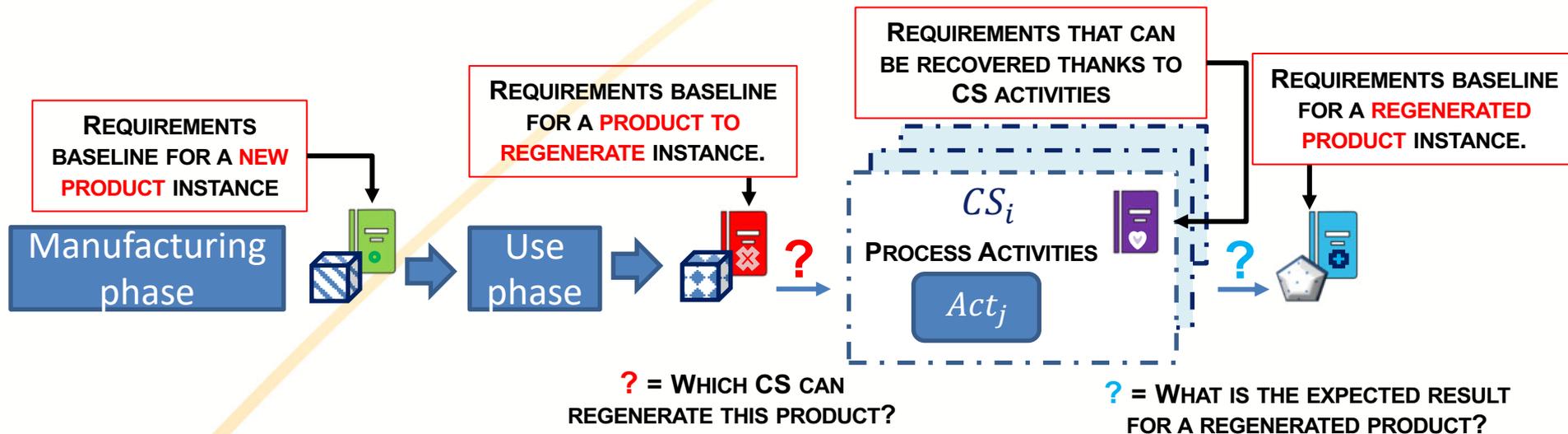
- C Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- C Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques**
- C Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération**
- C Projets en cours sur le sujet
- C Conclusions et perspectives

# CARACTÉRISATION DES RÉGÉNÉRATEURS

Plusieurs régénérateurs possibles (réutilisation, remanufacturing, recyclage...)

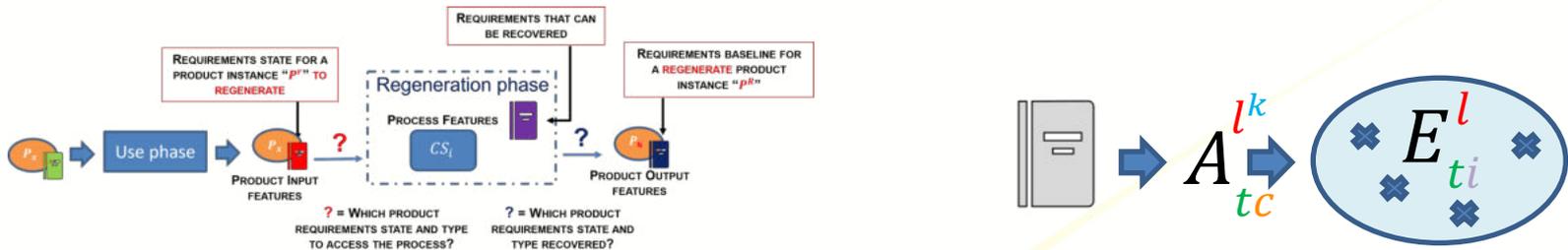
Élément commun pour effectuer une comparaison : le produit

⇒ Pour régénérer correctement, il faut connaître les caractéristiques techniques du produit et les actions possibles pour améliorer celles-ci

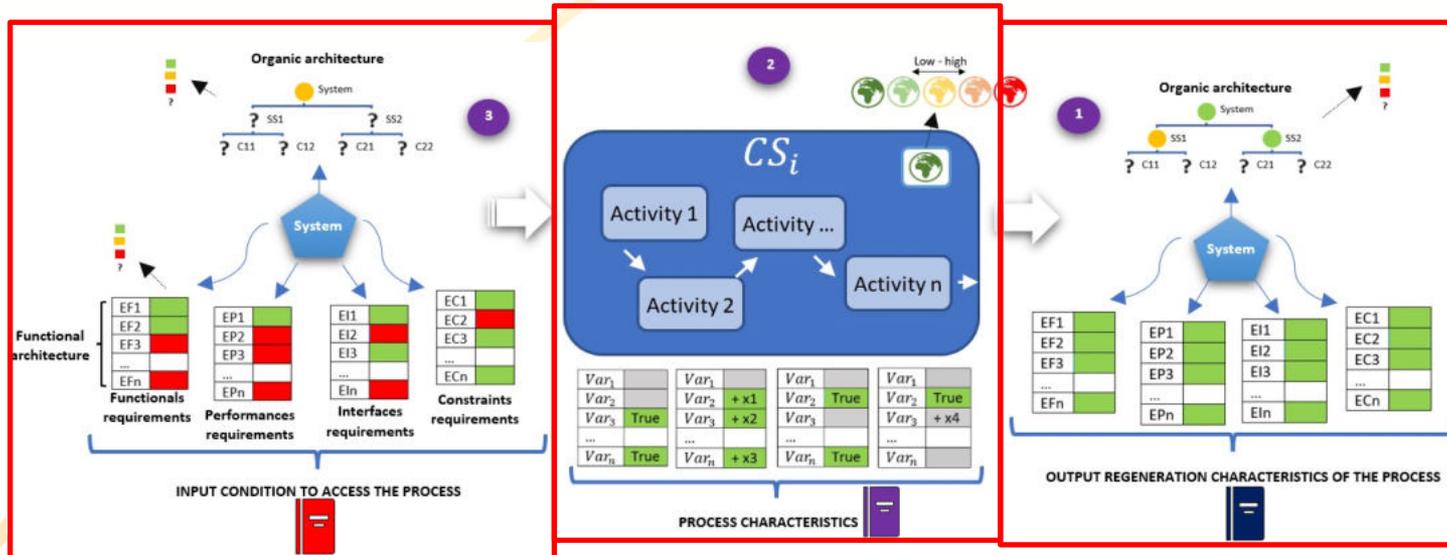


⇒ Utilisation des référentiels d'exigences pour pouvoir caractériser

# CARACTÉRISATION DES RÉGÉNÉRATEURS



- 1) SORTIE: comparaison de l'ensemble des exigences :  $A_t^l$  et  $A_t^g$
- 2) PROCESSUS : identification des capacités du processus :  $A_{td}^{lr}$
- 3) ENTREE: identification de l'ensemble d'exigences :  $A_t^r$  à partir de  $A_t^l$  et  $A_t^g$



# CARACTÉRISATION DES RÉGÉNÉRATEURS

Selon le niveau de régénération des activités des CS (**PROCESS**) et du résultat de la régénération (**OUTPUT**).

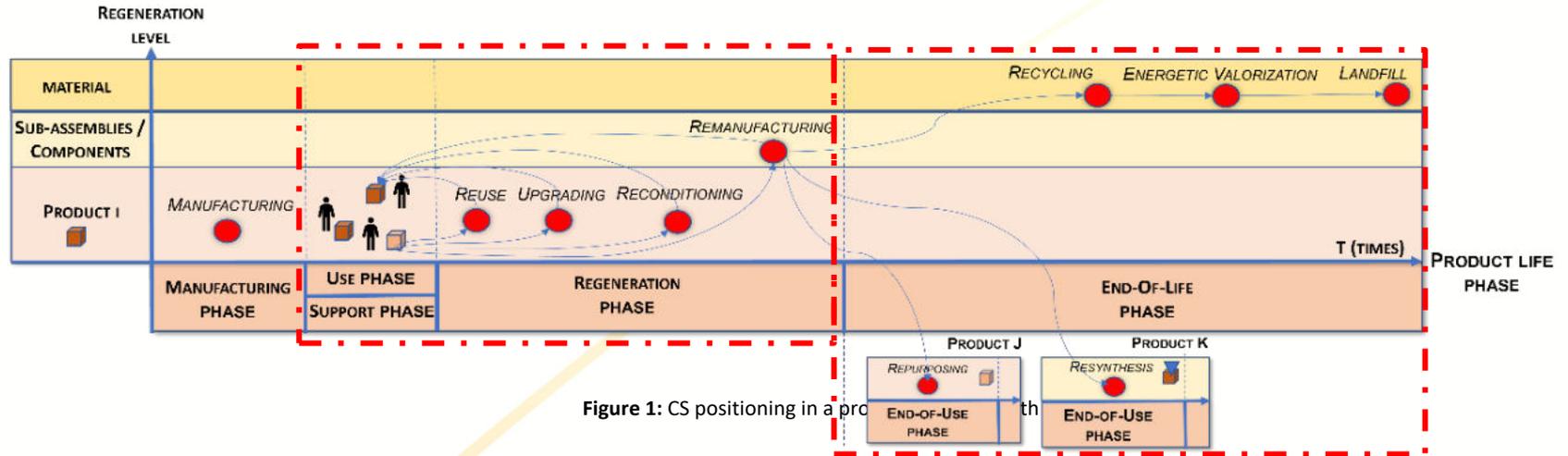


Figure 1: CS positioning in a product life cycle

## C PHASE DE REGENERATION VS PHASE DE FIN DE VIE

### C REGENERATION :

- C Réinsertion de produits pour la **même utilisation** (mêmes exigences produit régénéré / produit neuf)
- C La différence produit régénéré / produit neuf : **exigences de PERFORMANCE**

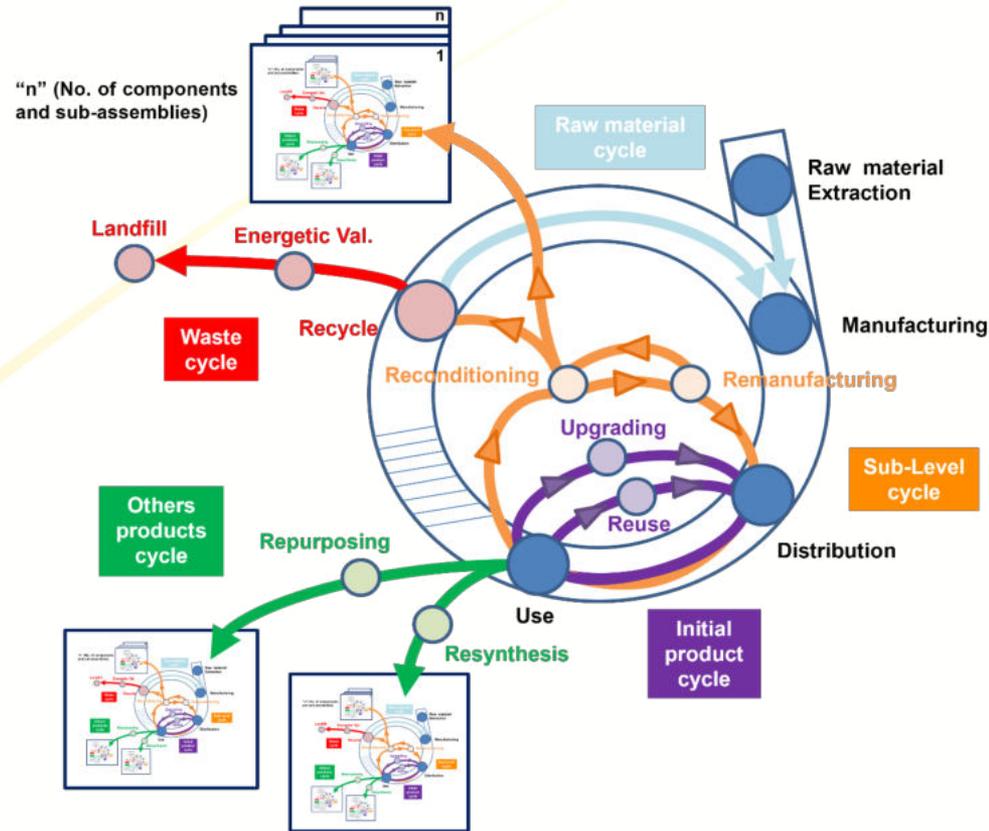
### C FIN DE VIE :

- C Réinsertion de produits pour une **utilisation différente** (exigences différentes pour les éléments régénérés / neufs)

# CARACTÉRISATION DES RÉGÉNÉRATEURS

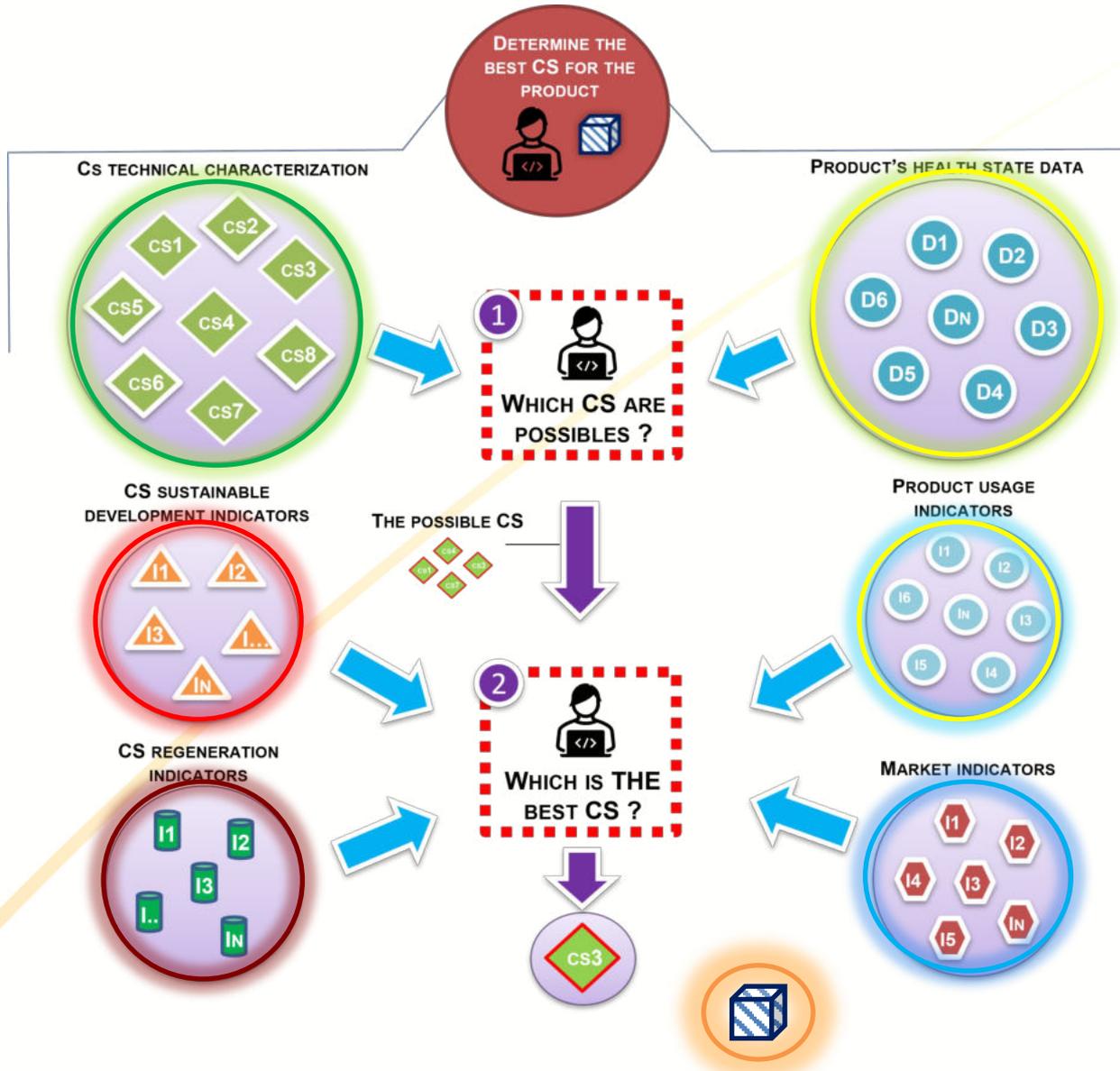
Utiliser une vision globale pour spécifier une approche écosystémique pour mettre en œuvre la régénération.

- Considérer l'influence des interactions des R-Alternatives entre elles.
- Considérer l'influence des R-Alternatives sur la conception du produit
- Identifier les données à collecter lors de l'utilisation (vision du cycle de vie).
- Co-éco-conception du produit – processus de régénération – Ecosystème
- Saisir les opportunités, créer des partenariats, augmenter les bénéfices (symbiose industrielle).



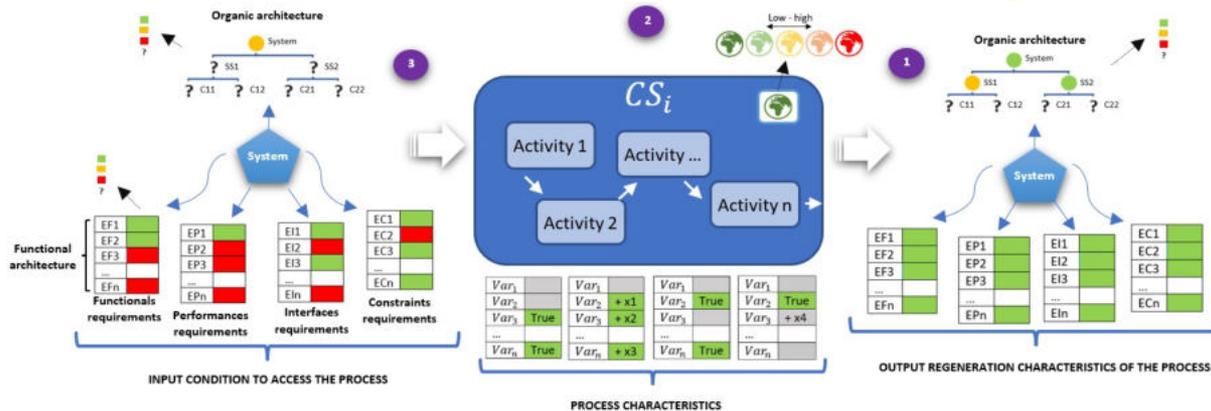
⇒ En fonction de l'état de santé d'un produit, il faut choisir le régénérateur le plus approprié

# AIDE À LA DÉCISION DU RÉGÉNÉRATEUR



# AIDE À LA DÉCISION DU RÉGÉNÉRATEUR

## Identification des régénérateurs possibles :



## Prise en compte des indicateurs pour choisir le meilleur régénérateur

- Besoin de modéliser l'état de santé du produit
  - Données hétérogènes
  - Incertitudes sur les données
- Besoin de modéliser les différents régénérateurs
  - Gammes de régénération
  - Incertitudes sur les effets des actions de régénération (dépendants de l'état de santé)
- Evaluer des indicateurs pour prendre la décision : temps de régénération, coût, garantie de réussite de la régénération

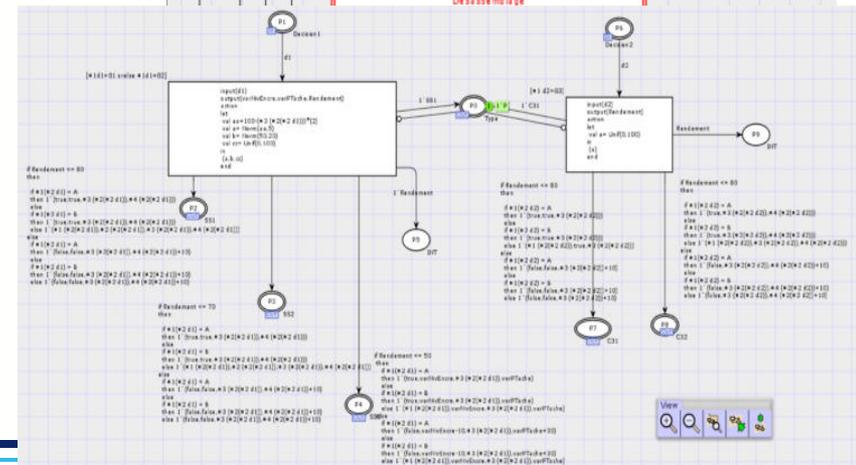
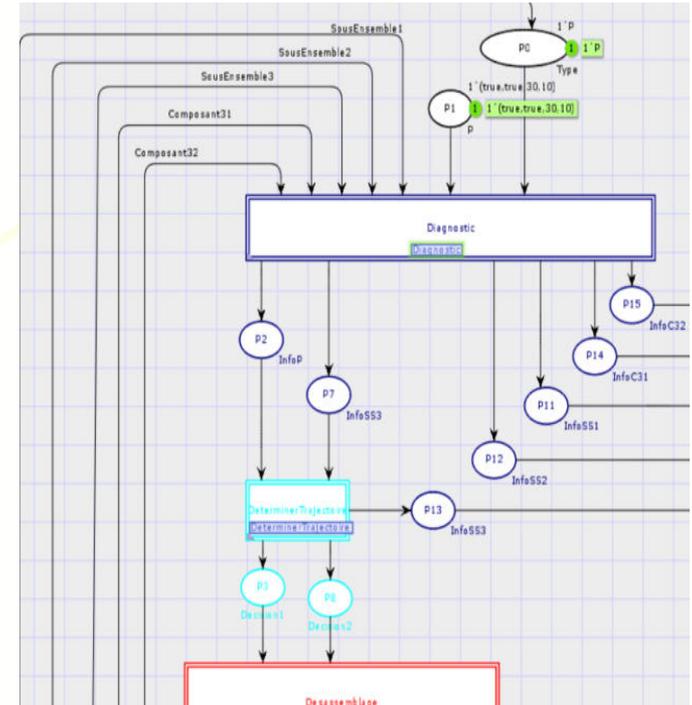
# AIDE À LA DÉCISION DU RÉGÉNÉRATEUR

## Proposition d'une approche par Réseau de Petri Coloré stochastique

- Couleurs des jetons : modélisation de l'état de santé du produit
- Intervalles et distributions sur les paramètres des couleurs : modélisation l'incertitude sur les données de l'état de santé
- Probabilités sur les transitions : modélisation de l'incertitude de réussite d'une action de régénération
- Fonctions associées au franchissement des transitions : modélisation du changement de l'état de santé du produit

## Evaluation par simulation de Monte Carlo

- Temps de régénération, coût, ...
- Probabilité de réussite de la régénération
- Consommation d'énergie, de matière, ...



# PLAN

- C **Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- C **Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques**
- C **Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération**
- C **Projets en cours sur le sujet**
- C **Conclusions et perspectives**

# ANR REGECOS

○ **RegEcoS : ÉcoSystème de Régénération de produits basé sur leurs usages**  
Aide ANR : PRC Axe H19 : « Industrie et Usine du futur : Homme, organisation, technologies »

○ **Partenaires : 3 laboratoires CNRS : CRAN, G-SCOP et IMS et 1 industriel : Décathlon**



○ **CRAN (UMR CNRS 7039, Université de Lorraine)** : Pascale Marangé et Eric Levrat, Compétences : Ingénierie système, Processus de régénération d'un produit en fin d'utilisation, Conception conjointe produit/process et aide à la décision des stratégies de régénération



○ **G-SCOP (UMR CNRS 5272, Université Grenoble Alpes)** : Helmi Ben Rejeb et Peggy Zwolinski, Compétences : Eco-conception de produit, Modélisation pour le pilotage de la chaîne de valeur et Mise en place d'indicateurs des systèmes industriels circulaires,



○ **IMS (UMR CNRS 5218, Université de Bordeaux)** : Mamadou Kaba Traoré et Vincent Robin, Compétences : Spécification des scénarios d'usage, jumeaux numériques produit et flotte de produits



○ **Décathlon (BITWIN Village, Lille)** : Christian Gravier (sustainable Development leader) pour son expertise sur l'éco-conception des équipements sportifs (mobilité active).

○ **Date de début du projet : 02 Janvier 2023 - Durée : 48mois**

○ **Objectifs** : Proposer une méthodologie pour la conception intégrée d'un produit et de son écosystème de régénération : supports au suivi de l'usage d'un produit durant son utilisation (système d'information, jumeau numérique...)

# THÈSE CIFRE – CEVA LOGISTICS

- C Thèse CIFRE avec la société CEVA LOGISTICS et 3 laboratoires de l'Université de Lorraine



- C Début de thèse Avril 2022
- C Intégration de la logistique dans la prise de décision de la régénération à mettre en place
- C Objet d'étude : batterie lithium Ion

## Avancées de la thèse :

- C Cartographie des acteurs de la régénération au niveau français
- C Identification des caractéristiques des batteries lithium ion (stockage, transport, sécurité...)

# PLAN

- **Présentation du laboratoire CRAN et équipe ISET**
- **Contexte, Problèmes et Problématiques scientifiques**
- **Caractérisation des régénérateurs pour aider au choix de régénération**
- **Projets en cours sur le sujet**
- **Conclusions et perspectives**

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Développement d'une approche avec une vision globale de la régénération sur tout le cycle de vie du produit**
  - Actuellement (i) caractérisation des régénérateurs, (ii) approche d'aide à la décision
  - En cours (i) co-ingénierie produit écosystème de régénération, (ii) réingénierie de l'écosystème en fonction de évolution du produit, du marché... (iii) développement de jumeaux numériques pour répondre à la myopie en phase d'utilisation
  
- **Dans le futur (i) intégration des connaissances de l'obsolescence dans l'ingénierie de l'écosystème de régénération (ii) intégration du potentiel de régénération de l'écosystème dans l'évaluation de l'obsolescence**

# PENSER LA RÉGÉNÉRATION INDUSTRIELLE POUR RÉPONDRE EN PARTIE À L'OBSOLESCENCE

*CRAN – Centre de Recherche en Automatique de Nancy*

*Pascale Marangé, Eric Levrat*

*Doctorants : L. Diez, G. Vanson, A. Sqhairat, M. Sautereau*

*Mail : [pascale.marange@univ-lorraine.fr](mailto:pascale.marange@univ-lorraine.fr) et [eric.levrat@univ-lorraine.fr](mailto:eric.levrat@univ-lorraine.fr)*

ISER



UMR 7039



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

