FORUM de l'Economie Circulaire

3 juillet 2014
Bordeaux, INSEEC

Identification des bases d'une synergie entre recycleurs et concepteurs

Marion Prinçaud [1], Stéphane Pompidou [2] et Nicolas Perry [3]

[1] Université de Bordeaux
ISM - UMR 5255
F-33400 Talence
FRANCE

[2] Université de Bordeaux
I2M - UMR 5295
F-33400 Talence
FRANCE

[3] Arts et Métiers ParisTech
I2M - UMR 5295
F-33400 Talence
FRANCE

Plan

- **Concepteurs** : une vision *produit*
  - Comment optimiser la fin de vie du produit dès la phase de conception ?

- **Recycleurs** : une vision *matériau*
  - Comment mieux intégrer les recycleurs dans le cycle de développement du produit en tant que fournisseurs de matériaux (n+1)G ?

Partie 1

Concepteurs : une vision *produit*

L'écoconception

➔ **Écoconcevoir** un produit consiste à le concevoir

- avec (au moins) le **même niveau fonctionnel**,
- mais en utilisant **moins de matière** et **d'énergie**, en favorisant l'utilisation de **ressources renouvelables**, et en optimisant sa structure pour **limiter les opérations de maintenance** et **favoriser les meilleurs traitements de fin de vie**.

Écoconcevoir pour la fin de vie

➔Appréhender la fin de vie du produit dès sa conception

- **Intérêt**
  Les décisions prises au plus tôt dans la conception du produit vont avoir les conséquences **économiques** et **environnementales** les plus importantes en fin de vie.

- **Solutions**
  Il existe plus de 150 outils d'écoconception, mais ils se révèlent peu appropriés aux PME (difficiles d'utilisation).

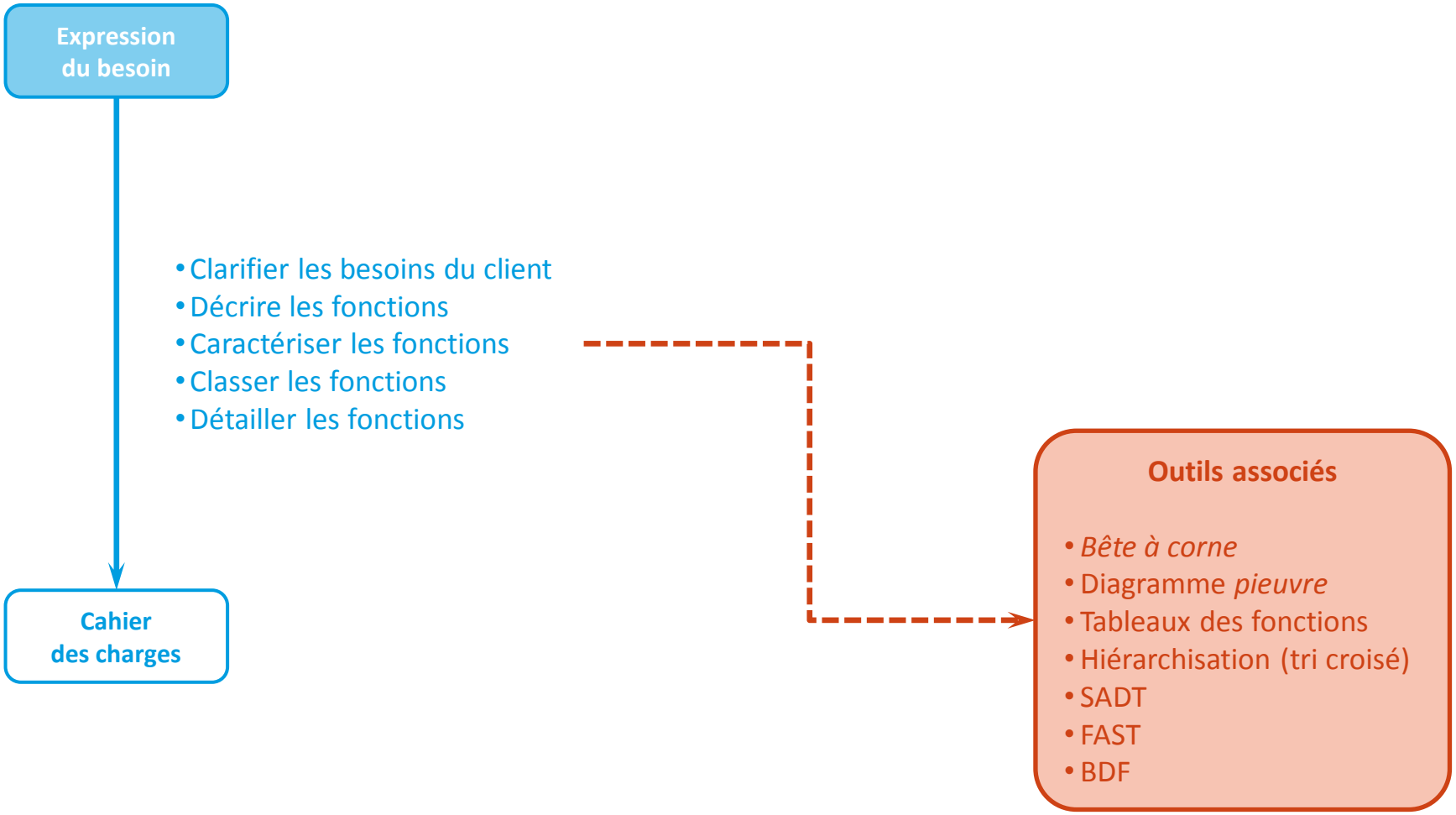
- **Solution alternative** (notre proposition)
  Adapter les **outils classiques de conception** pour prendre en compte la fin de vie.

Écoconcevoir pour la fin de vie

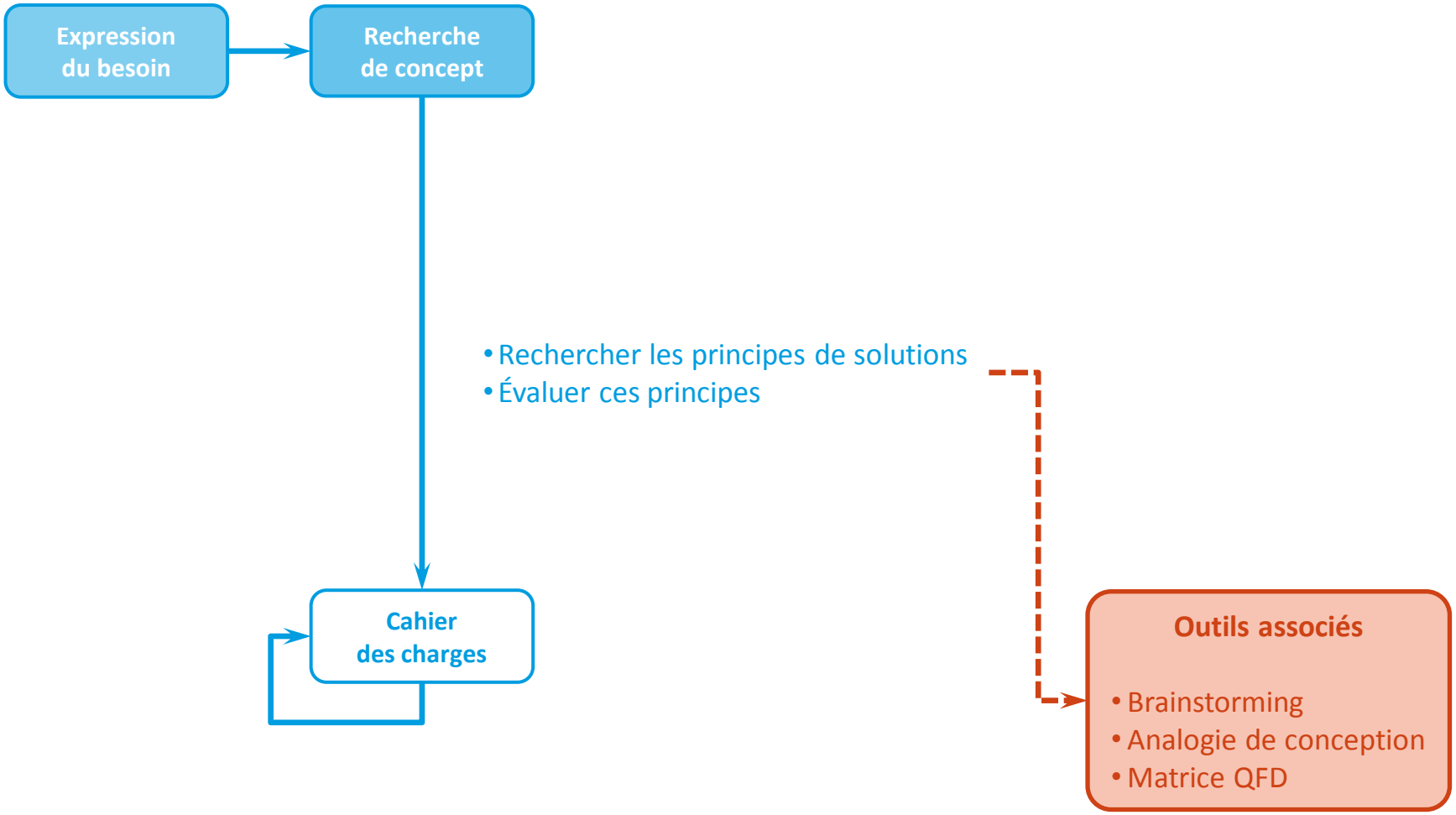
→Notre approche

- **Inventorier les outils classiques de conception**
  - détailler le cycle de conception d'un produit ;
  - lister les outils de conception associés à chaque phase.
- **Évaluer les choix de conception** à chaque étape du processus, **en fonction des scénarios envisagés**
  - proposer, valider et affiner des **scénarios de fin de vie** ;
  - définir et sélectionner les **indicateurs** facilement intégrables dans les outils de conception pour évaluer ces scénarios.

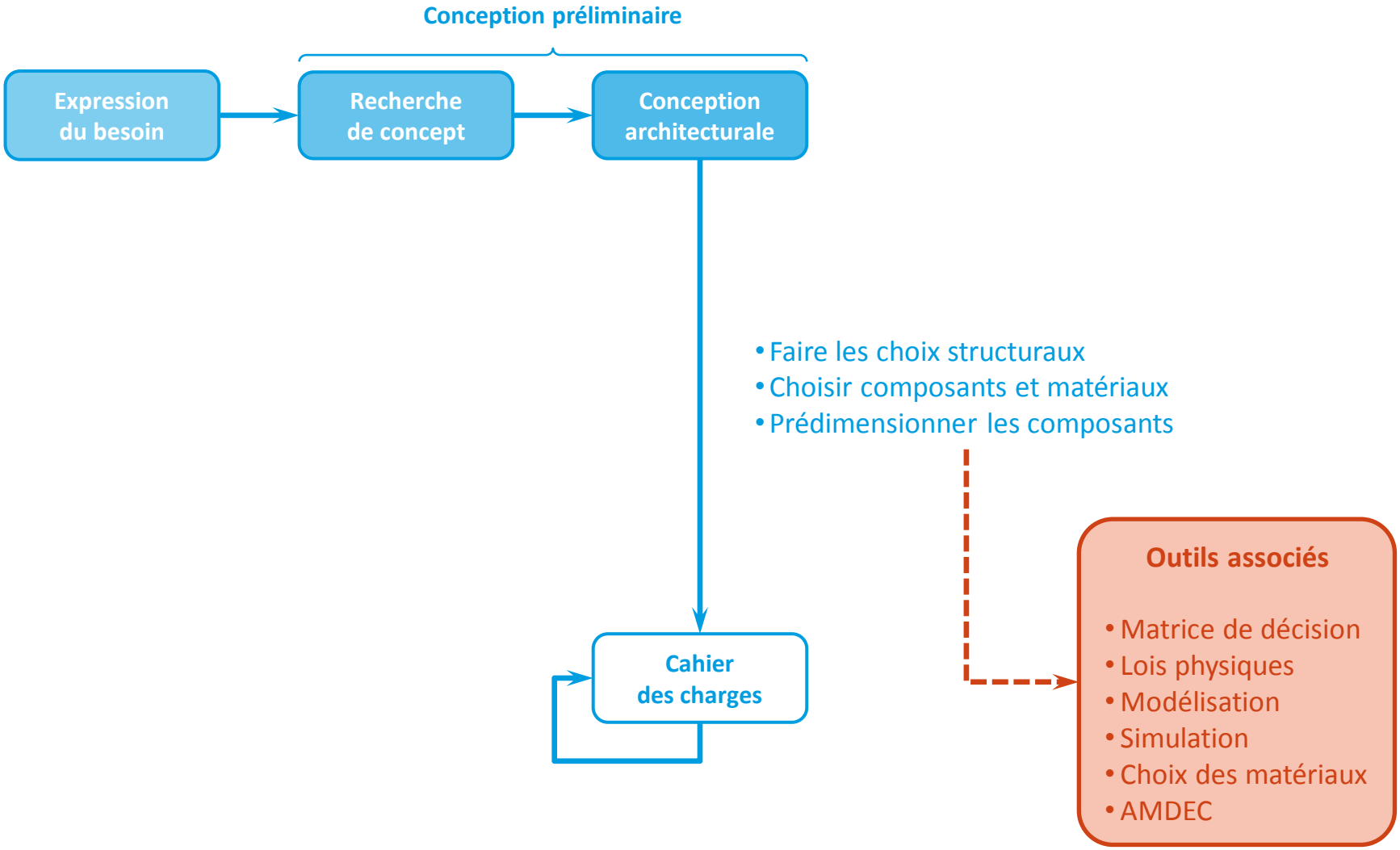
Le cycle de conception du produit



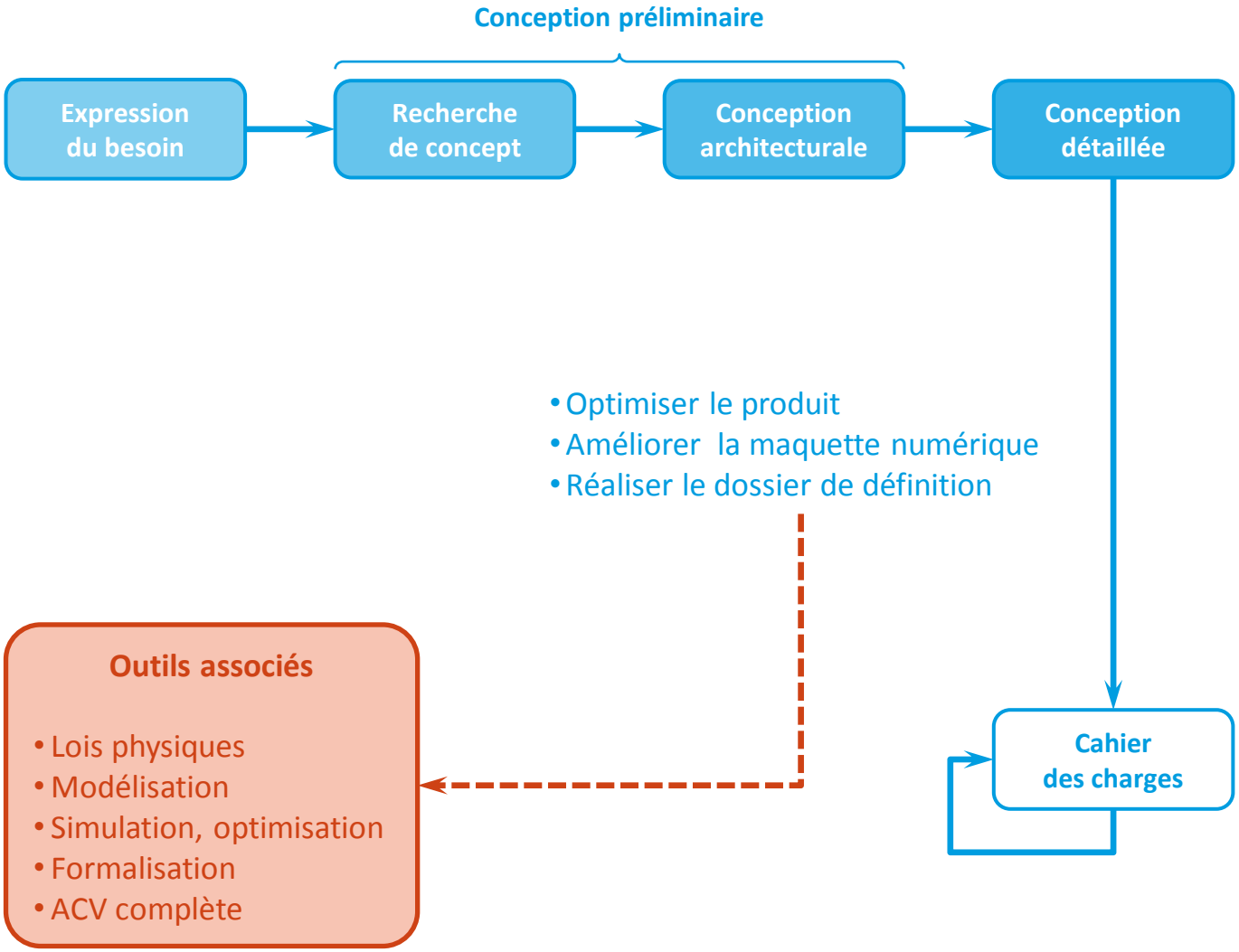
Le cycle de conception du produit



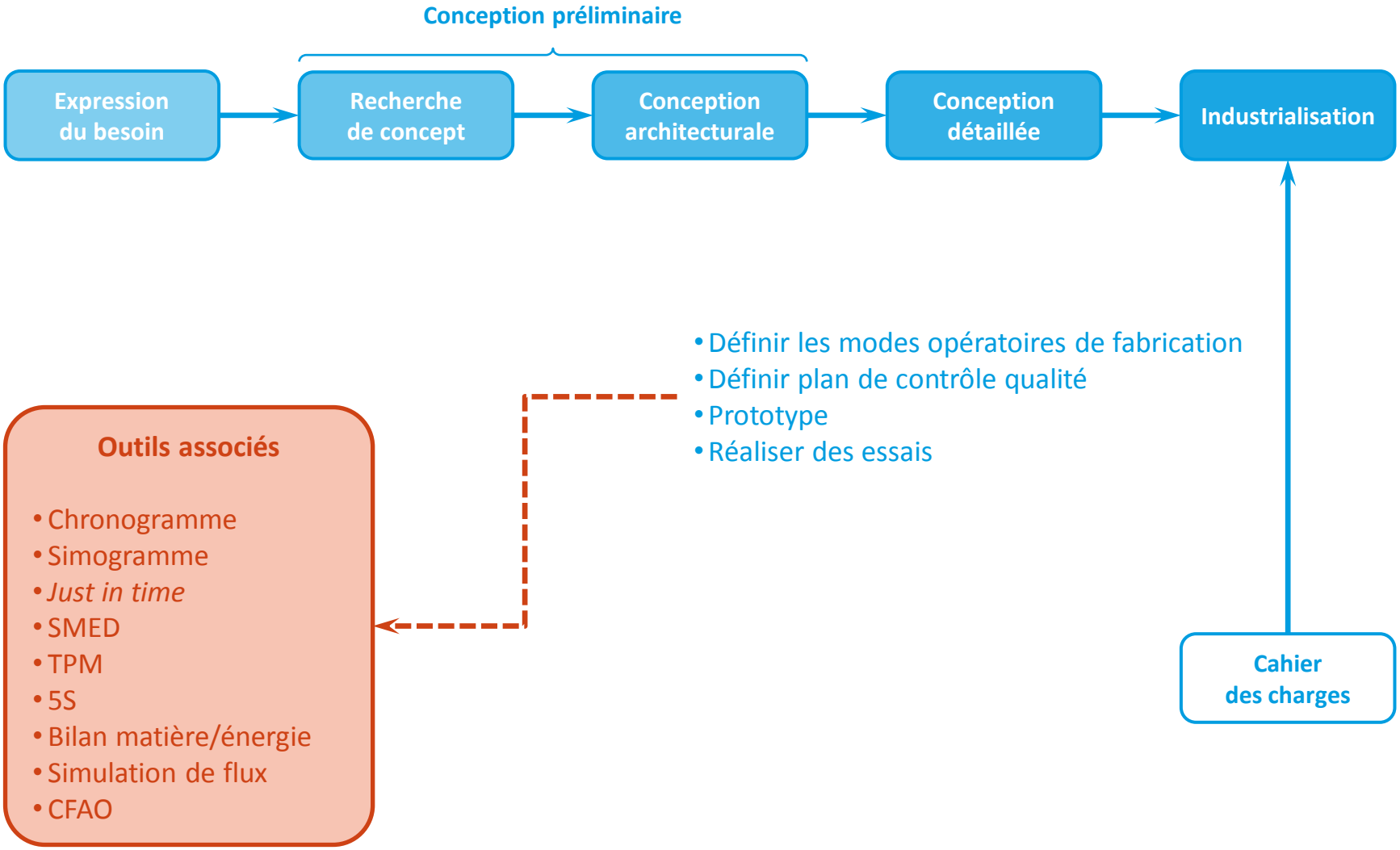
Le cycle de conception du produit



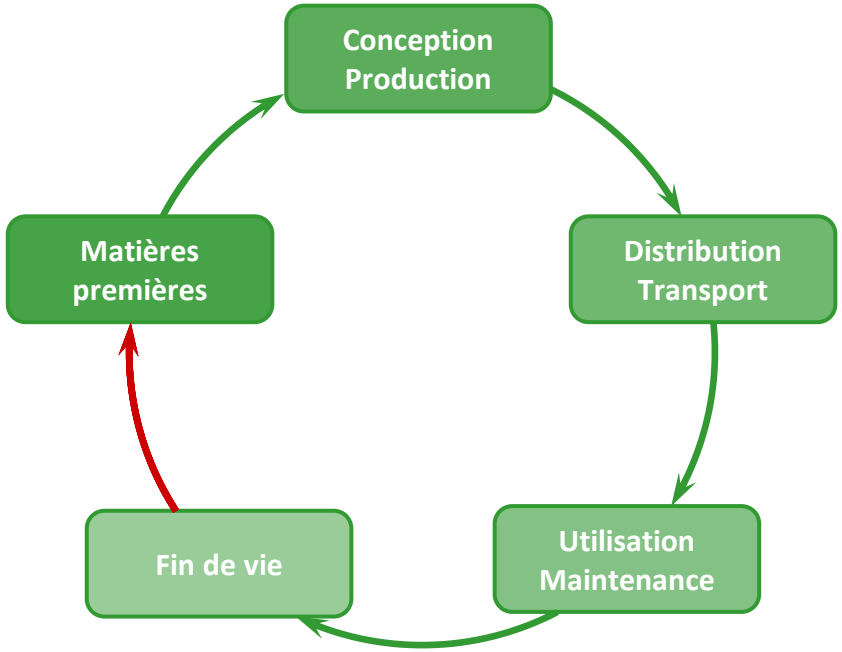
Le cycle de conception du produit



Le cycle de conception du produit



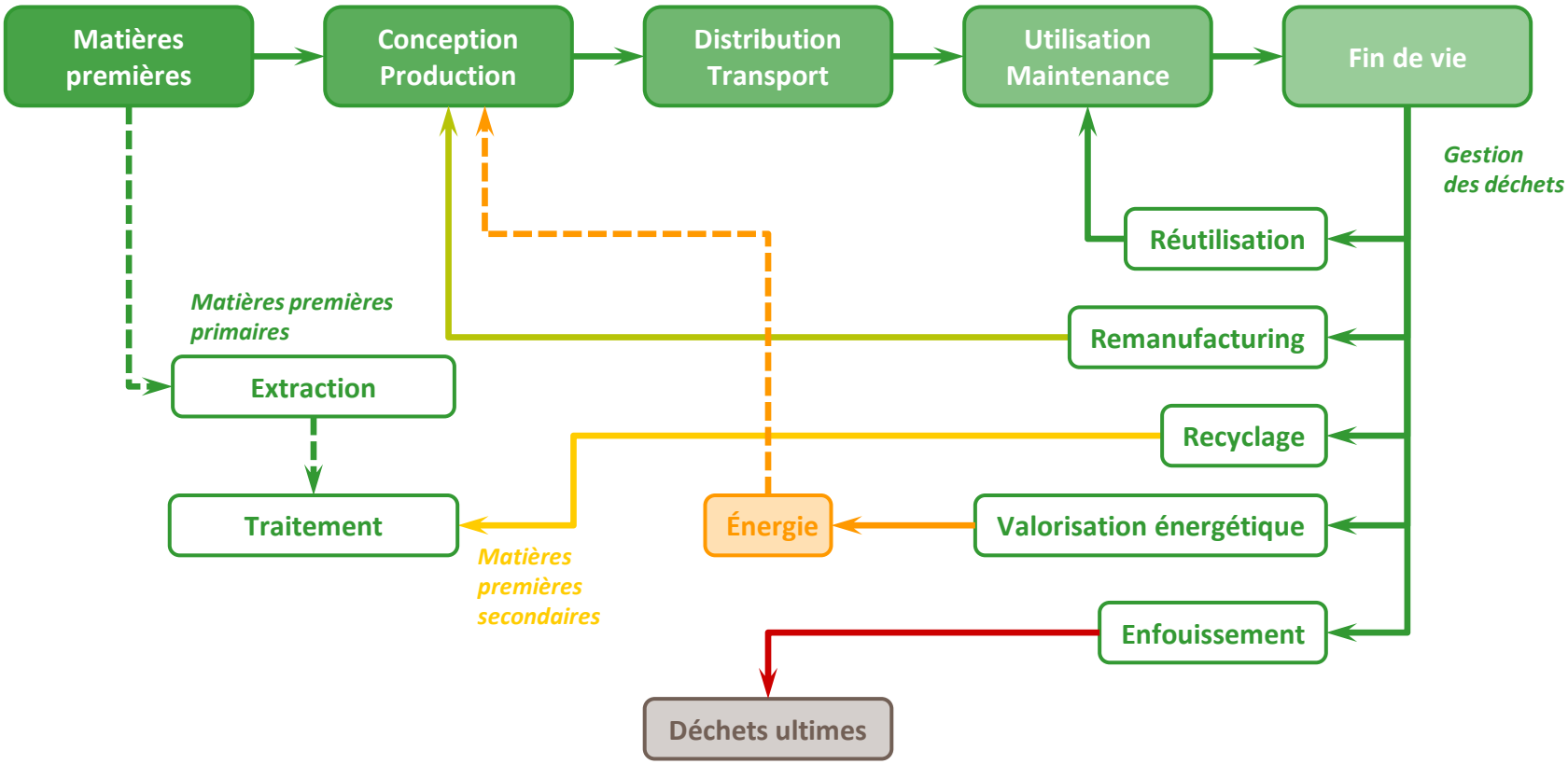
Le cycle de vie du produit



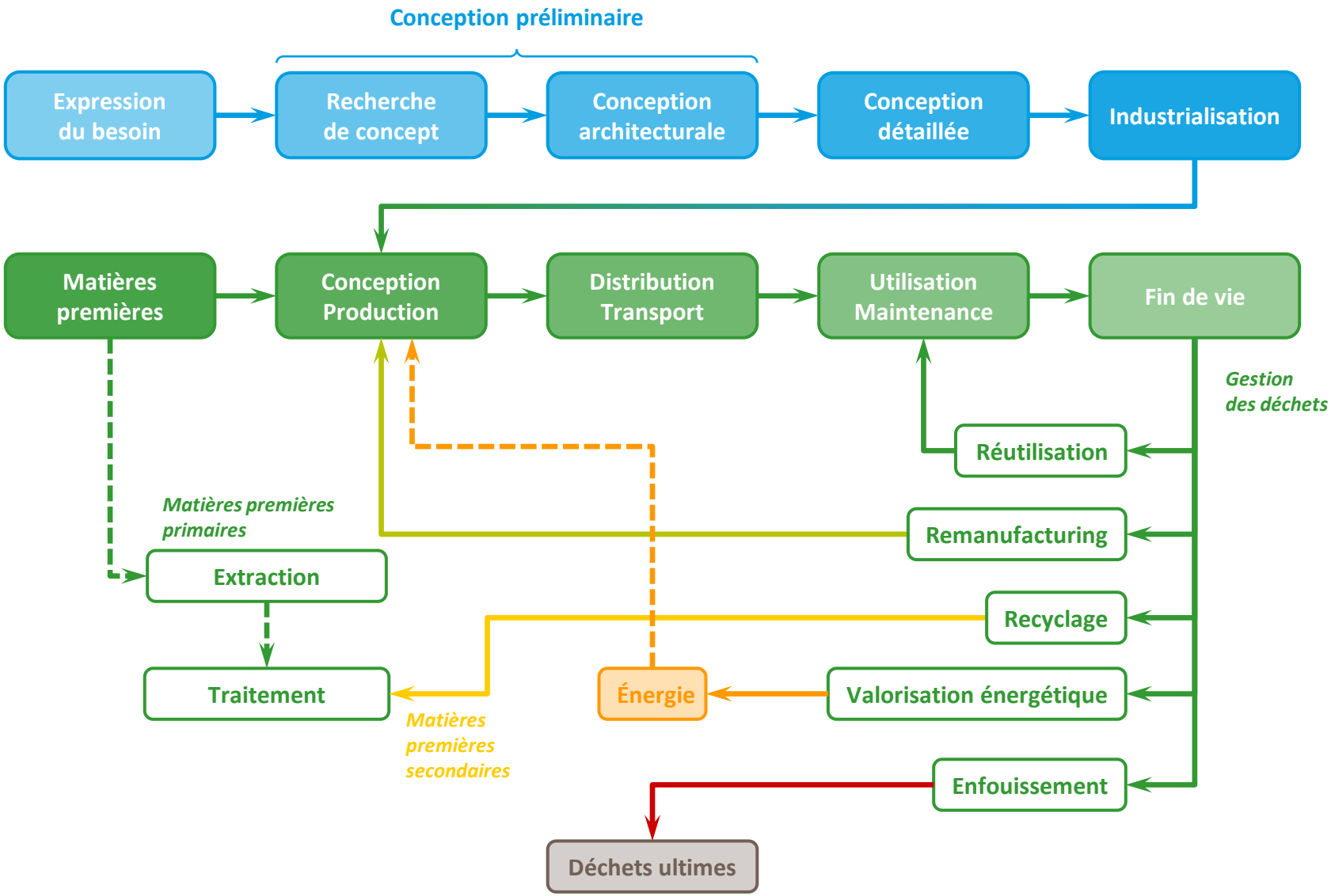
Objectifs

- Proposer des scénarios de fin de vie ;
- Les évaluer tout au long du processus de conception ;
- Se placer dans un système allant vers une **économie circulaire**.

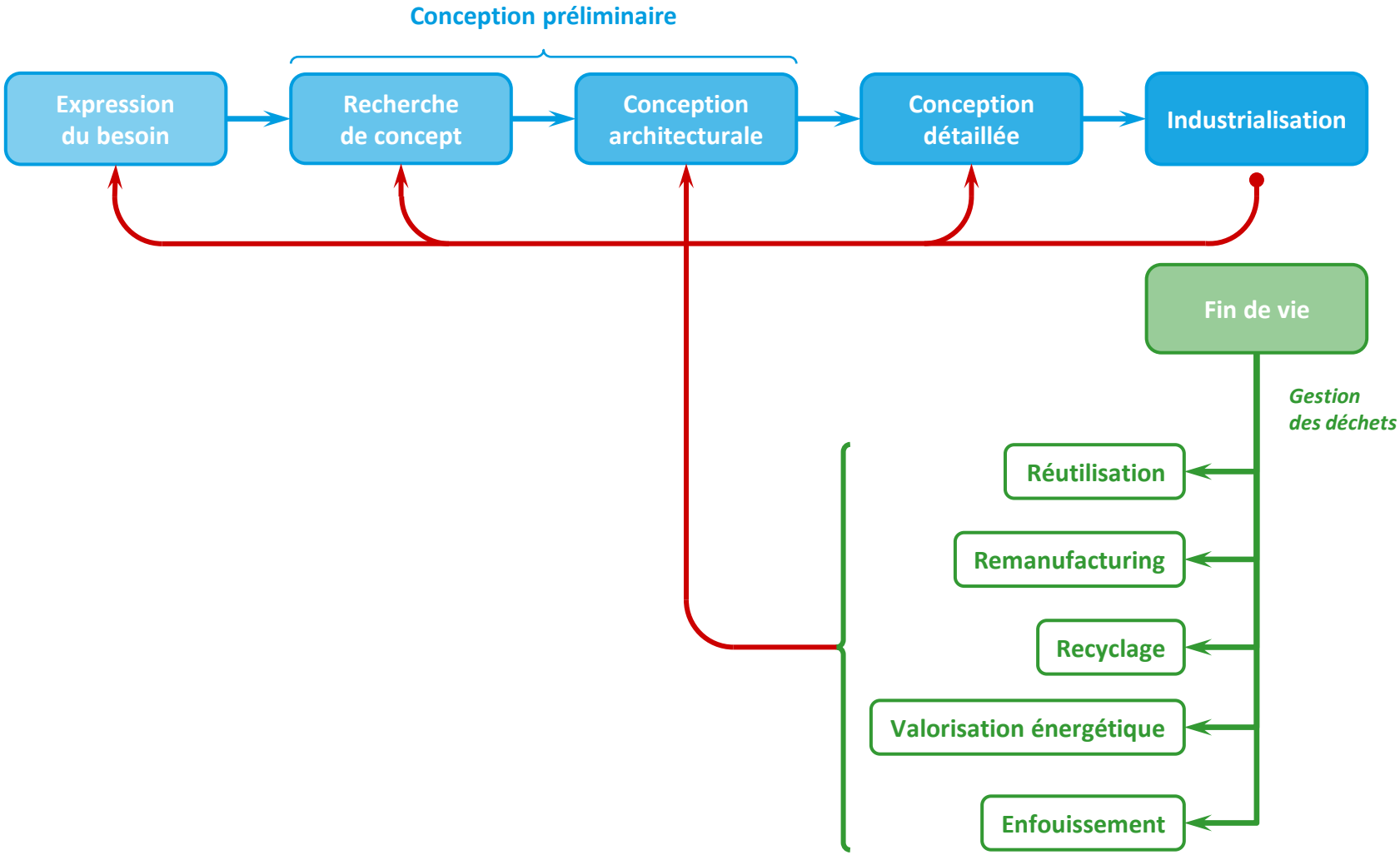
La fin de vie du produit



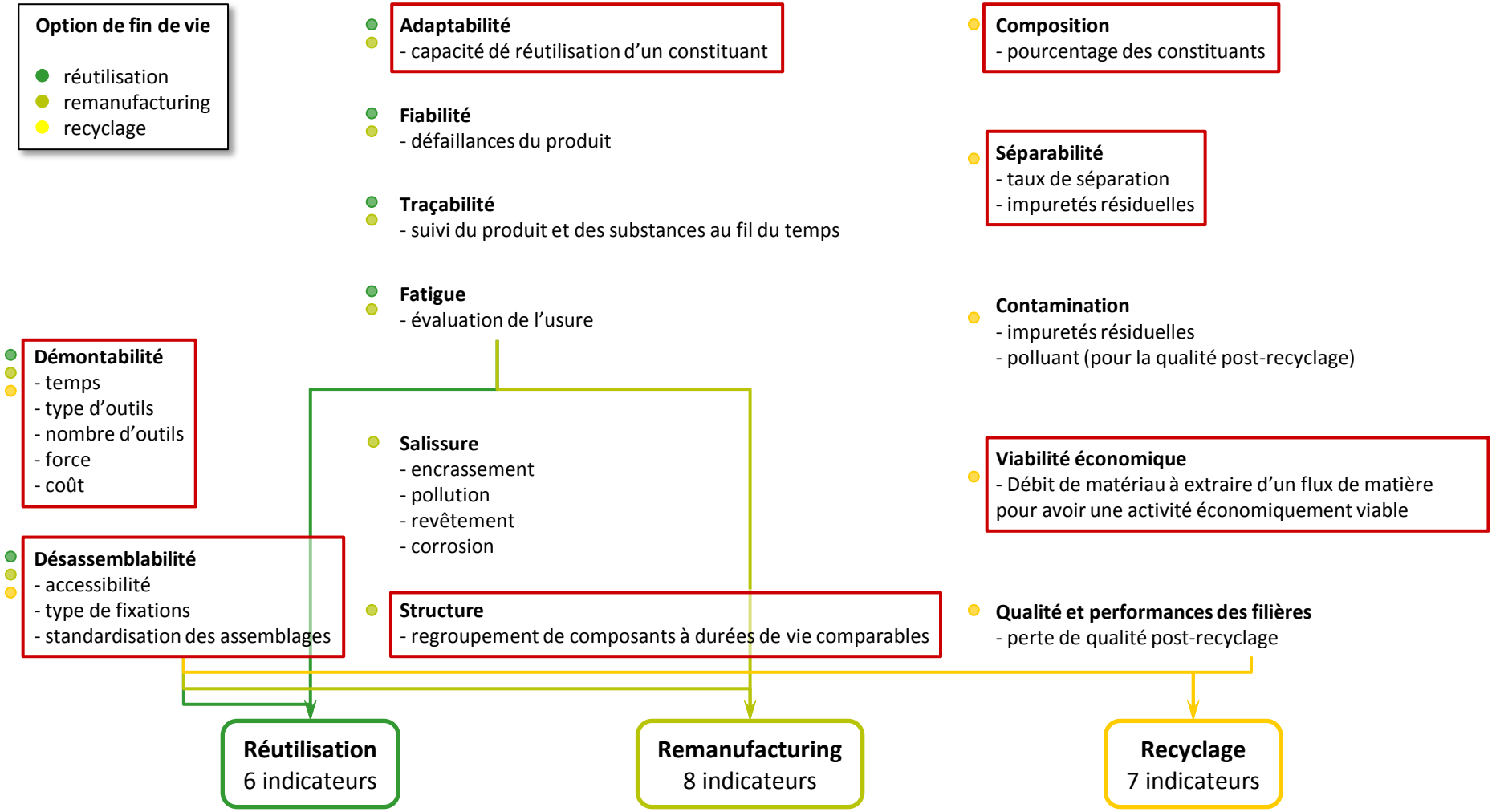
Cycles de conception et de vie du produit



Cycles de conception et de vie du produit



Les indicateurs pour la fin de vie



Écoconcevoir pour la fin de vie

→Conclusion et perspectives

- **Indicateurs** associés aux phases de développement du produit, mais pas encore intégrés dans les outils *classiques* de conception ;
- Méthode appliquée dans les grandes lignes sur la **reconception d'une éolienne** ;
- Limite de l'approche : difficulté de **quantification des indicateurs** ;
- Perspective : valider la méthode sur la **conception d'un produit**.

Partie 2

Recycleurs : une vision *matériau*

Recycleurs : une vision *matériau*

➔Comment placer les recycleurs dans la boucle pour qu'ils deviennent des fournisseurs de matériaux 2G ?

⇔Comment passer de la vision *matériau* (recycleurs) à une vision *produit* (concepteurs) ?

➔Un cas d'étude : les composites à renfort carbone/matrice époxy

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

→ Un contexte d'usage croissant depuis les années 90

Performances techniques

Aéronautique et aérospatiale
Applications high-tech

Automobile
Allègement des véhicules (parties semi-structurales)

Sports et loisirs
Composants décoratifs (non structuraux)

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

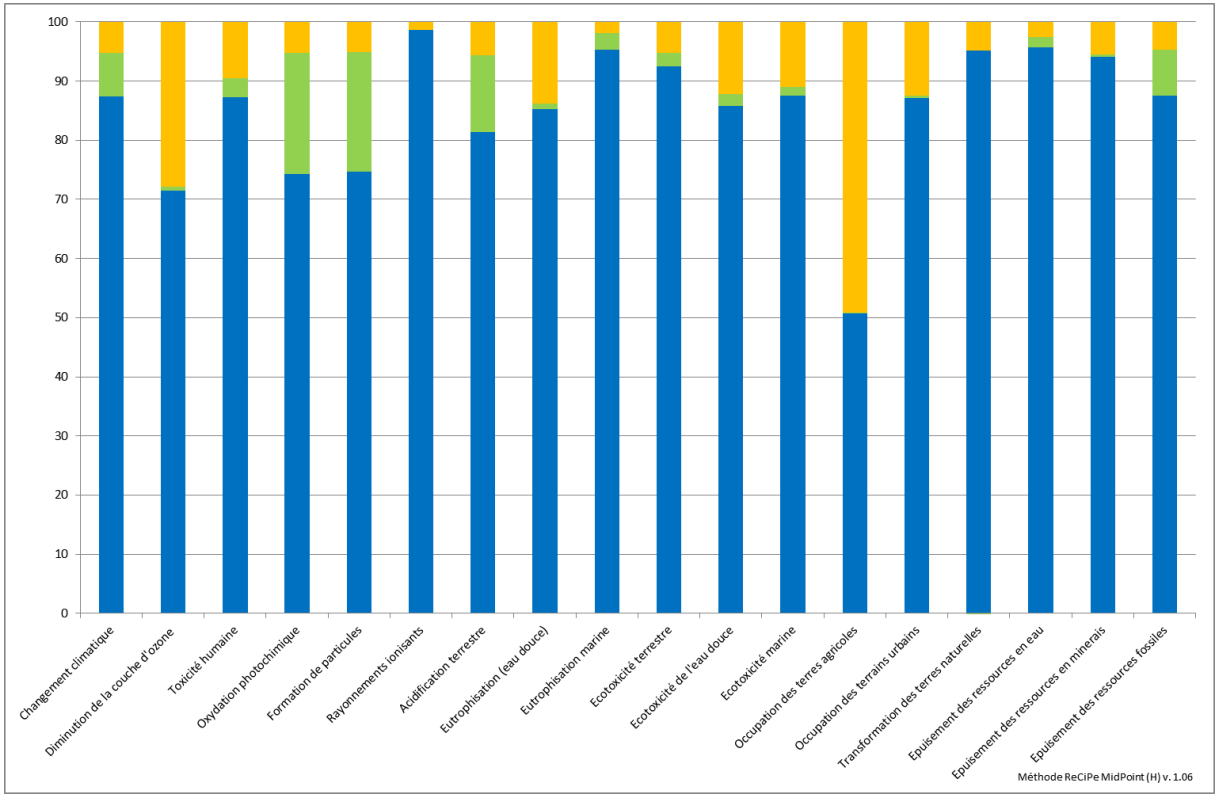
→ Problématiques inhérentes

- Coût non négligeable
  (prépregs de fibres de carbone ≈ 180€·kg^{-1})
- Législations (à venir ?)
- En fin de vie (FdV) : fibres/matrice mal dissociables, pièces de formes trop variées
- Matériaux non renouvelables

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

➔Problématique inhérente

- Majorité des impacts environnementaux liée à la fabrication des fibres de carbone



Impact environnemental de la fabrication d'une pièce composite carbone/époxy de 1 kg

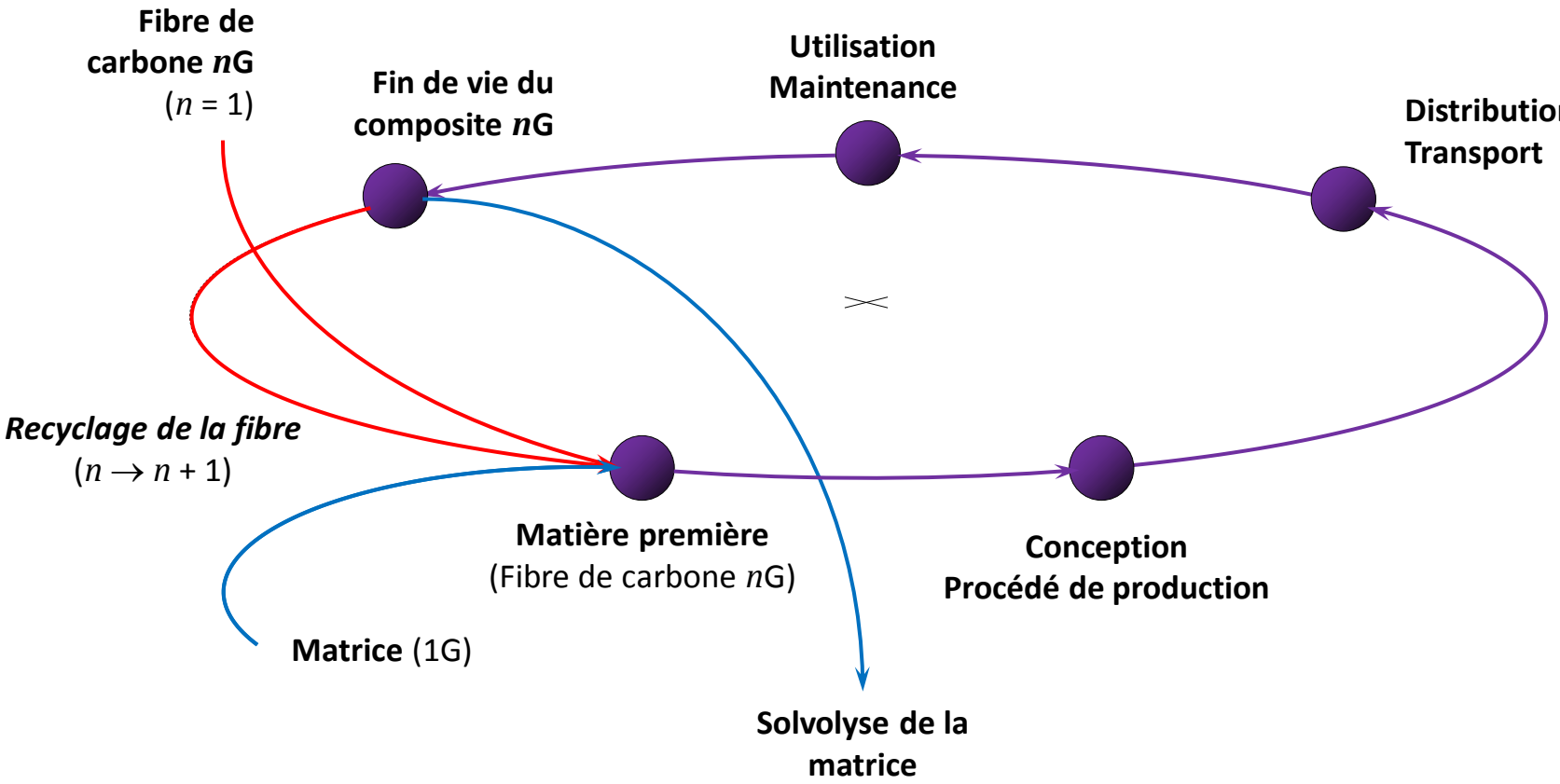
Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

→ Nécessité de considérer les scénarios de fin de vie de ce matériau dans le contexte des filières existantes

- Enfouir
- Incinérer
- Valoriser la matière
- Recycler (au moins partiellement)

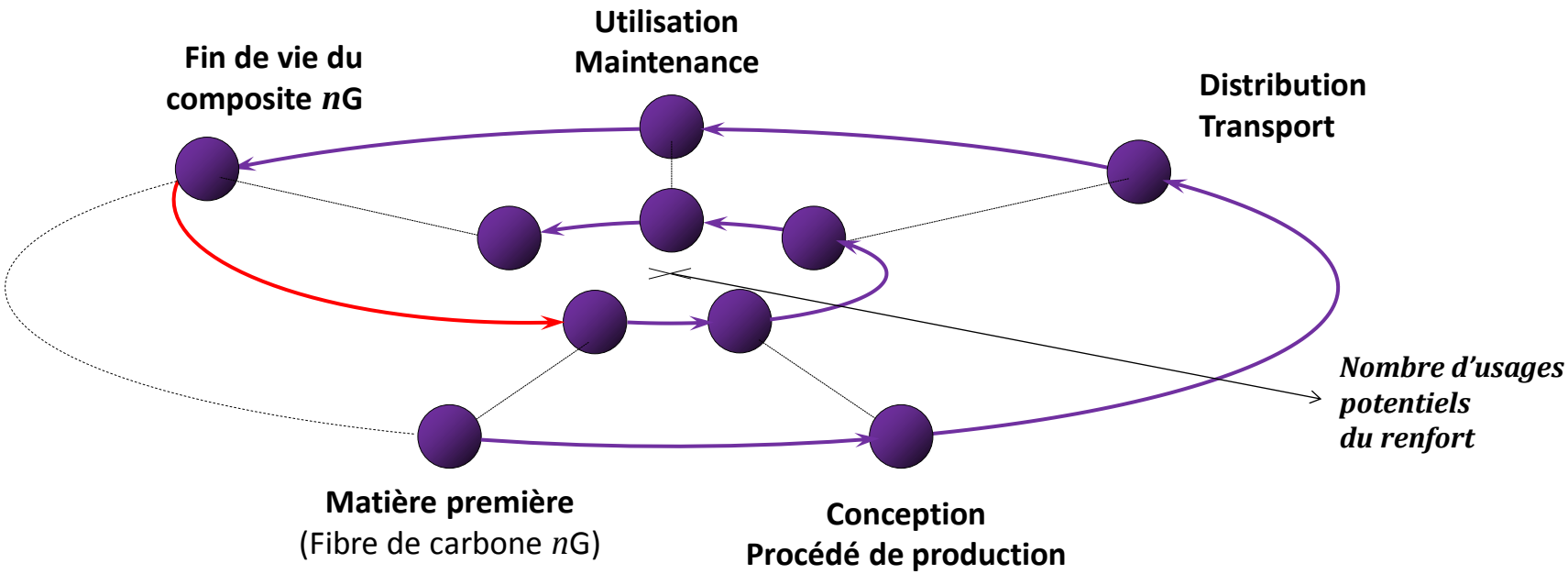
Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

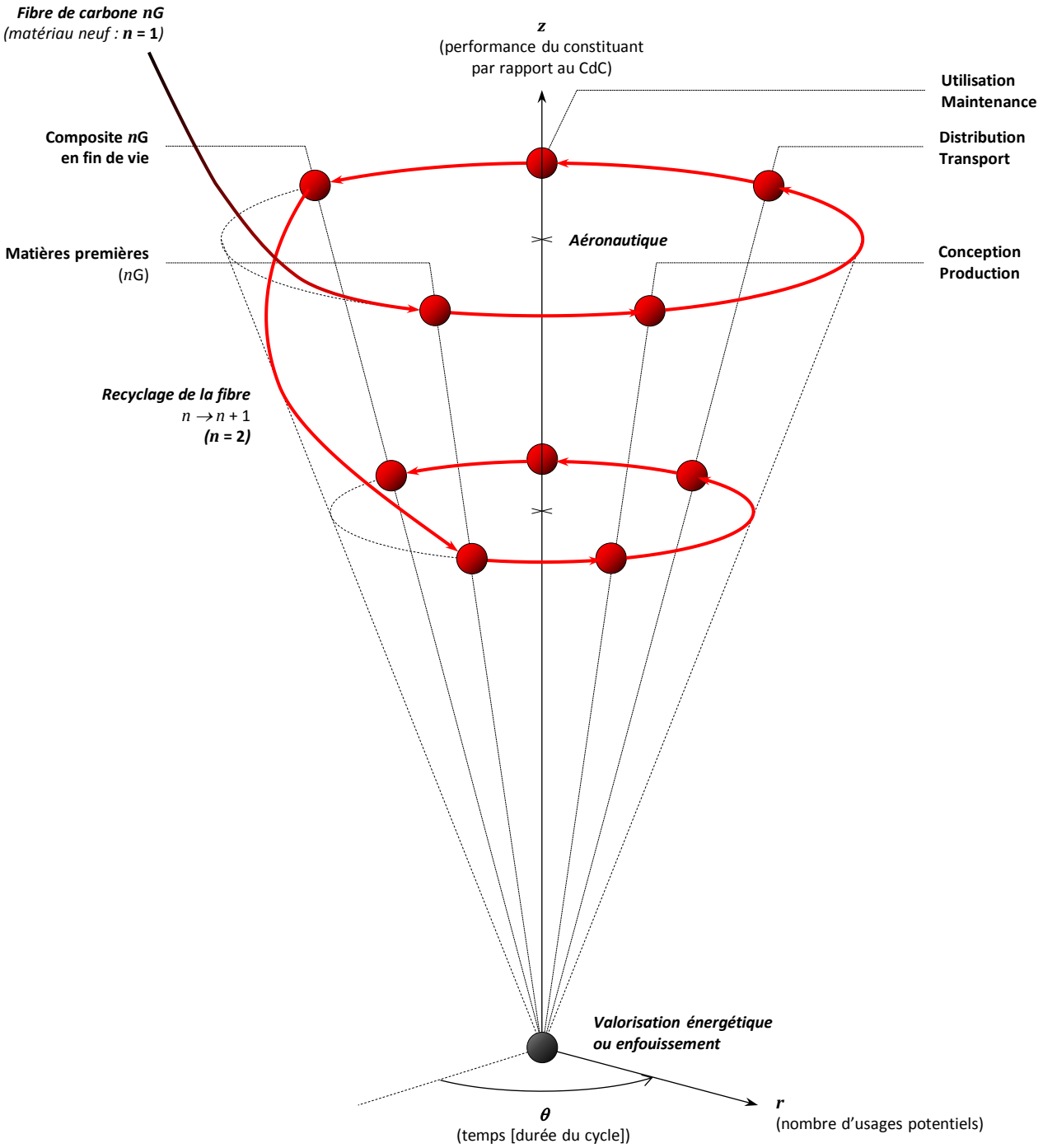
➔Nécessité de considérer les scénarios de fin de vie de ce matériau dans le contexte des filières existantes



Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

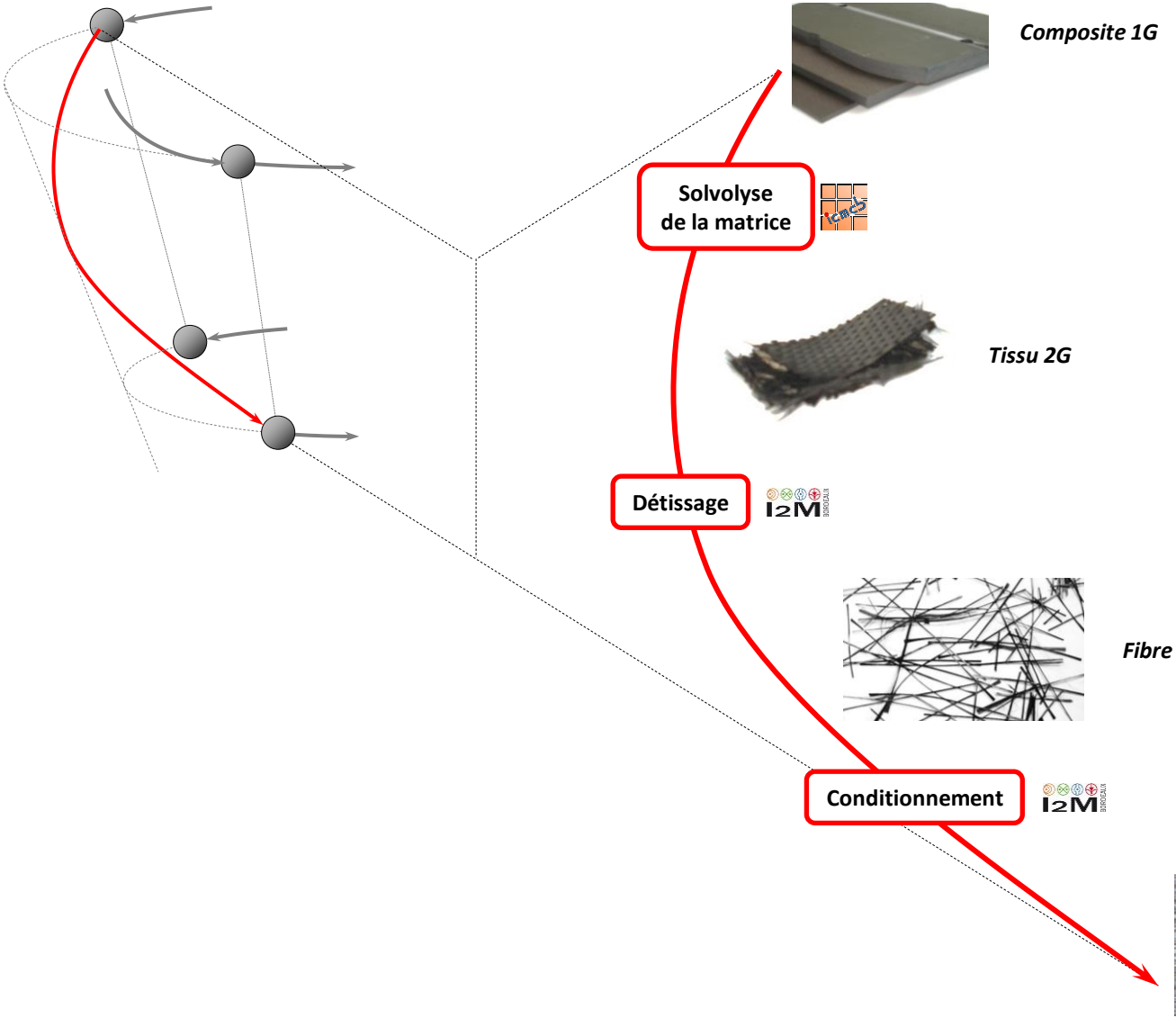
➔Nécessité de considérer les scénarios de fin de vie de ce matériau dans le contexte des filières existantes




Fibre de carbone nG
(matériau neuf : n = 1)
z
(performance du constituant
par rapport au CdC)
Utilisation
Maintenance
Distribution
Transport
Conception
Production
Composite nG
en fin de vie
Matières premières
(nG)
Aéronautique
Recyclage de la fibre
n → n + 1
(n = 2)
Valorisation énergétique
ou enfouissement
θ
(temps [durée du cycle])
r
(nombre d'usages potentiels)

A380
A380

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy



Composite 1G

Solvolyse de la matrice

Tissu 2G

Détissage

Fibre 2G

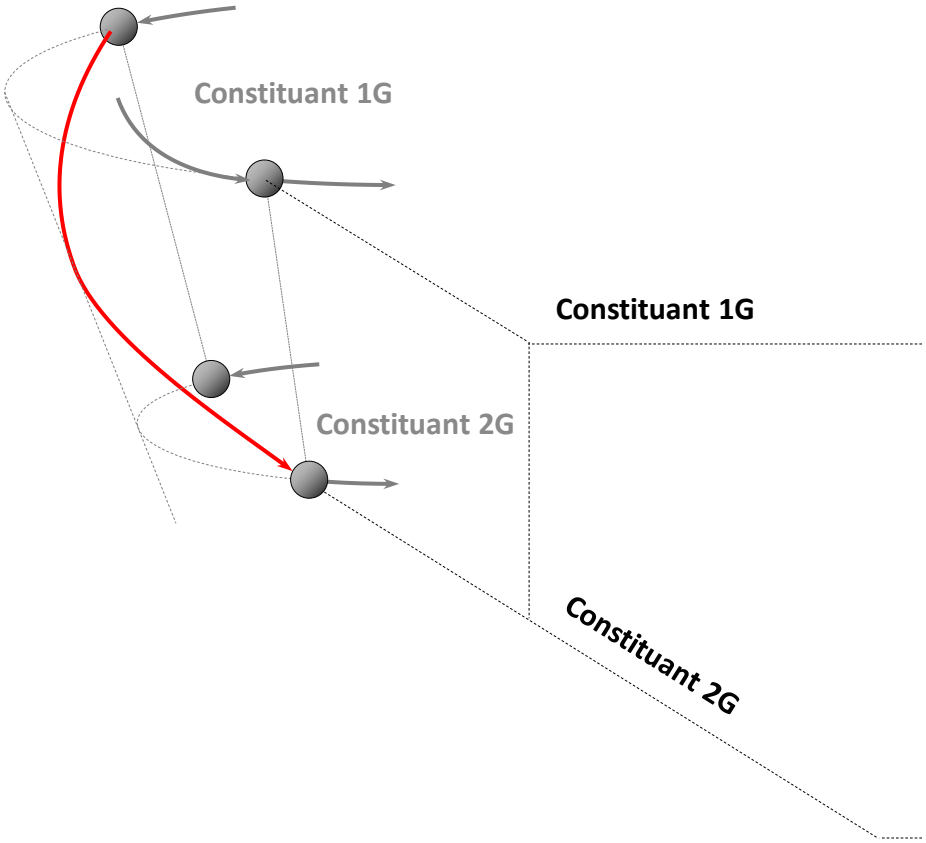
Conditionnement

Semi-produit 2G *(bandes unidirectionnelles)*

Caractériser les **matériaux**

$(\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, ..., \mathcal{P}_n)$

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy



Constituant 1G

$$z^{(1G)} = z\left(\mathcal{P}_1^{(1G)}, \mathcal{P}_2^{(1G)}, \ldots, \mathcal{P}_n^{(1G)}\right)$$

$$\partial^{(2G/1G)} = \partial\left(\mathcal{P}_i^{(1G)}, \mathcal{P}_i^{(2G)}\right)_{i=1 \text{ à } n}$$

Constituant 2G

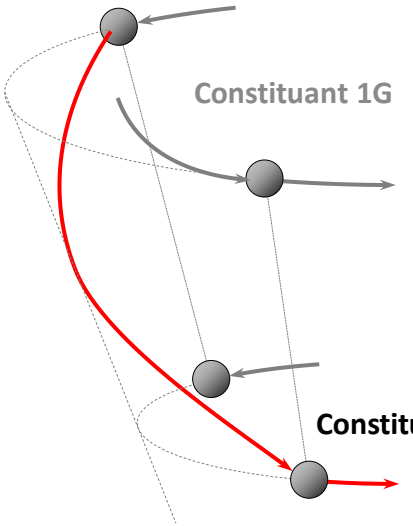
$$z^{(2G)} = z\left(\mathcal{P}_1^{(2G)}, \mathcal{P}_2^{(2G)}, \ldots, \mathcal{P}_n^{(2G)}\right)$$

Indice de décyclage

Caractérise le procédé de recyclage (et sert à son optimisation)

⇒ Caractérise le procédé de production d'un autre matériau (pour maintenir la ressource)

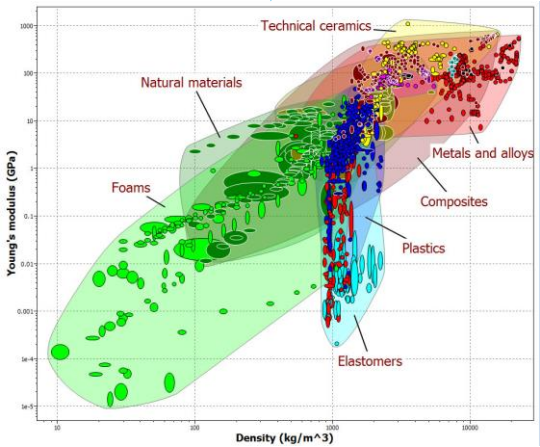
Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy



Constituant 2G
=
Nouveau matériau

$$z^{(2G)} = z\left(\mathcal{P}_1^{(2G)}, \mathcal{P}_2^{(2G)}, \ldots, \mathcal{P}_n^{(2G)}\right)$$

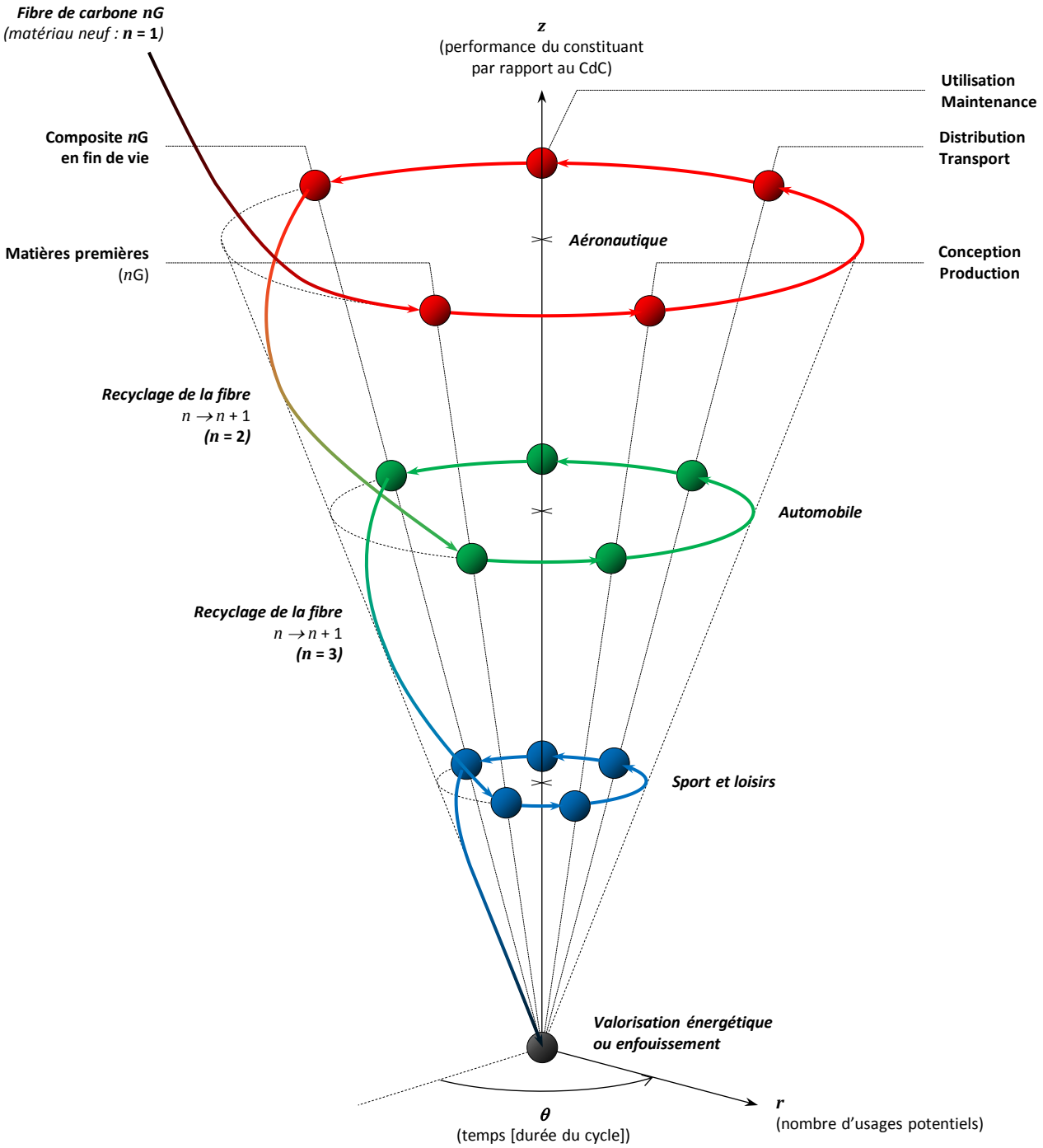
Mettre à disposition ce matériau



Carte des propriétés de matériaux

Innovation

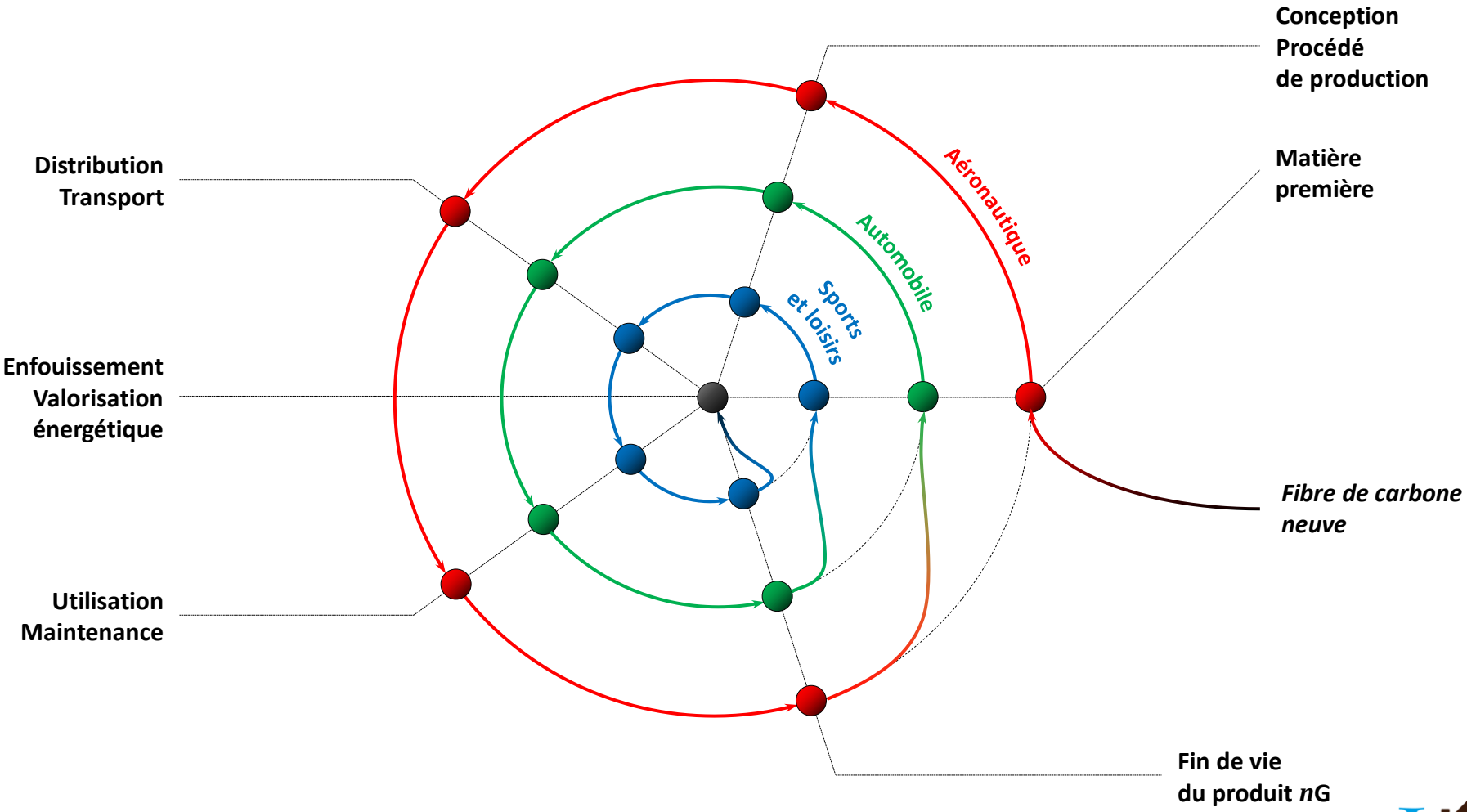
Proposer de nouveaux domaines d'application


Fibre de carbone nG
(matériau neuf : n = 1)
z
(performance du constituant
par rapport au CdC)
Utilisation
Maintenance
Distribution
Transport
Conception
Production
Composite nG
en fin de vie
Matières premières
(nG)
Aéronautique
Recyclage de la fibre
n → n + 1
(n = 2)
Automobile
Recyclage de la fibre
n → n + 1
(n = 3)
Sport et loisirs
Valorisation énergétique
ou enfouissement
θ
(temps [durée du cycle])
r
(nombre d'usages potentiels)

A380

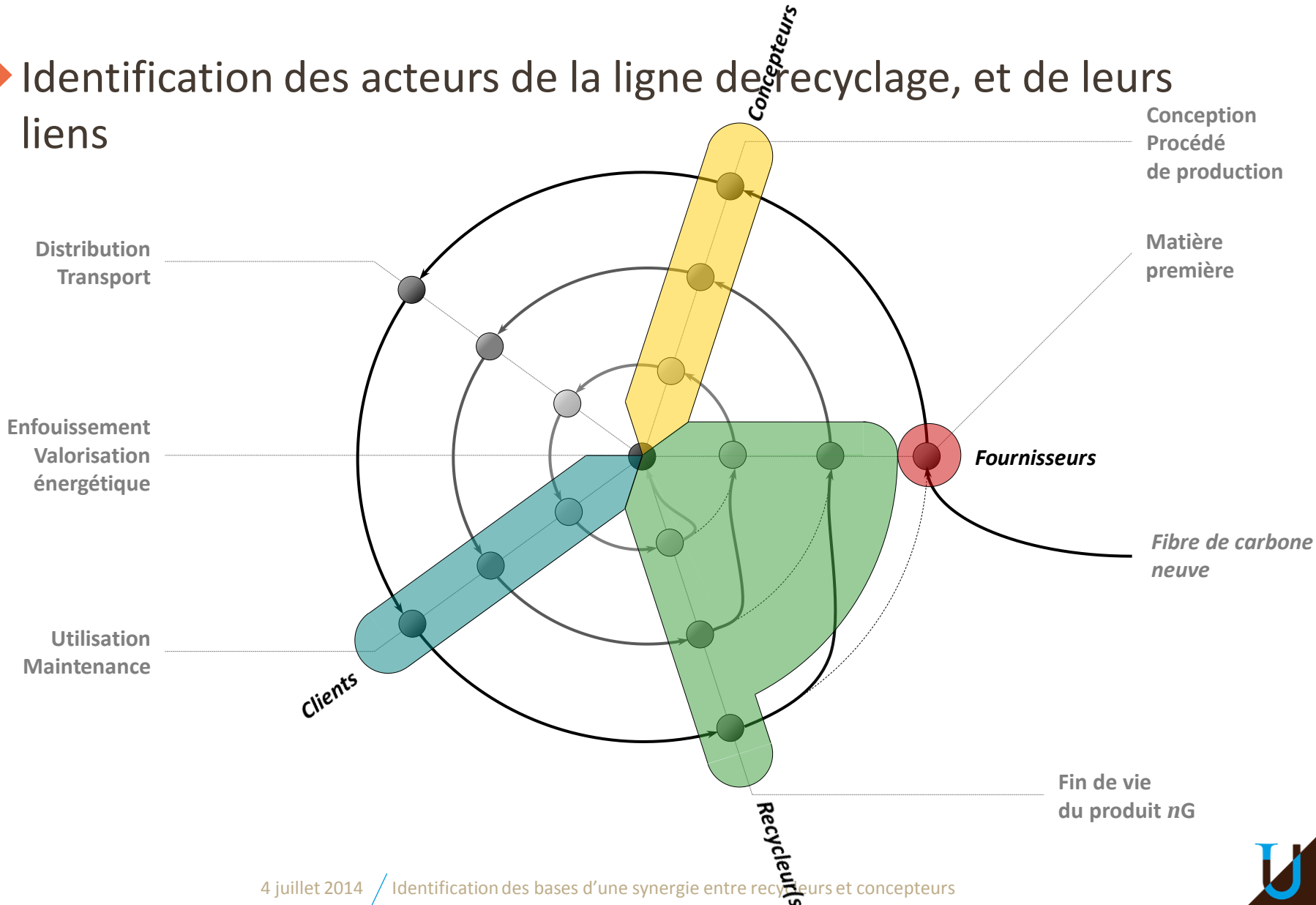
Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

➔ Identification des acteurs de la ligne de recyclage



Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

➔ Identification des acteurs de la ligne de recyclage, et de leurs liens

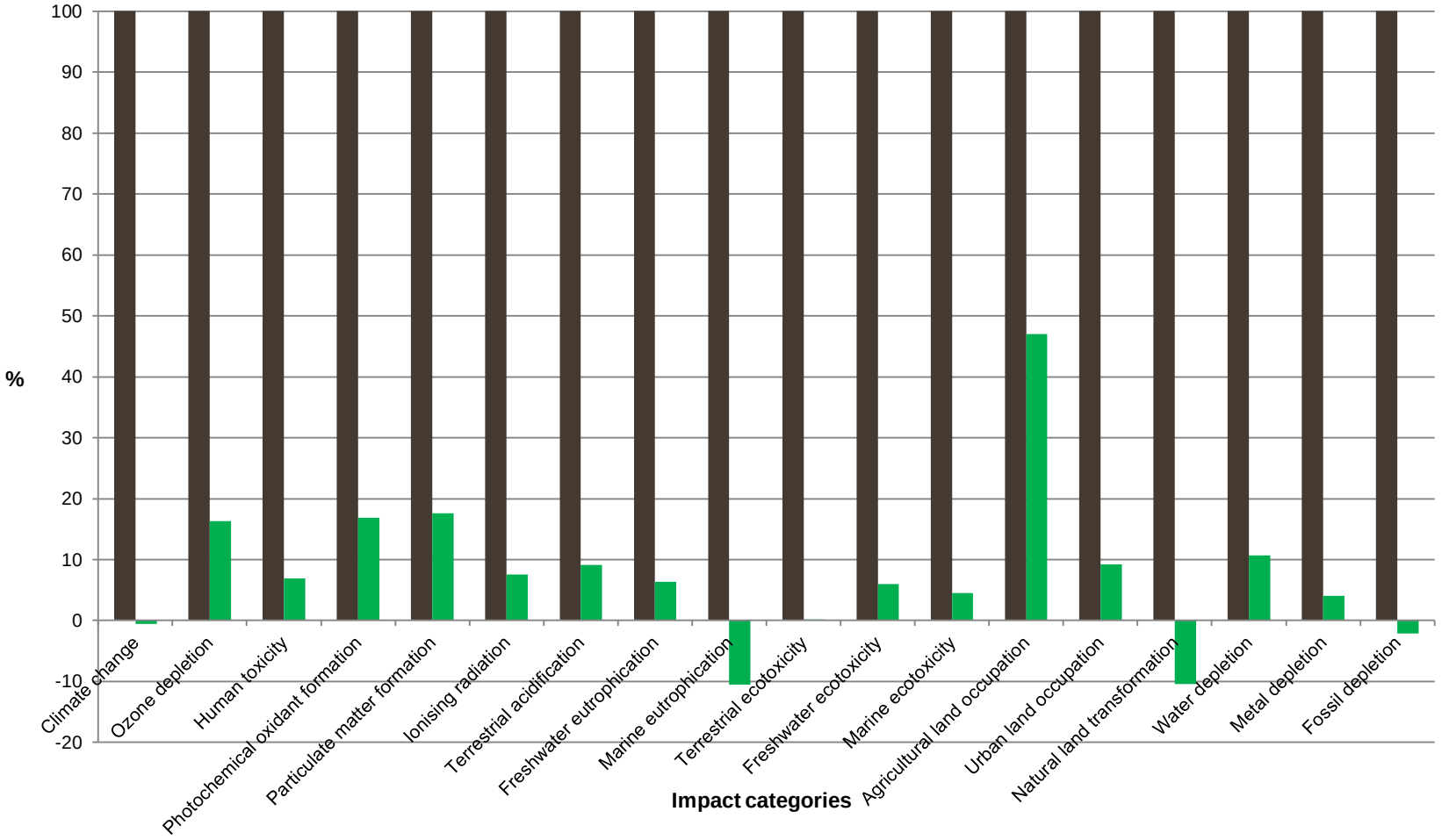


Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

➔ Caractérisation d'indicateurs

- Matériau avant/après recyclage ➔ performances techniques/mécaniques
- Procédé de recyclage ➔ impacts environnementaux comparés

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy



Comparison of the environmental impacts of a 1 kg composite part throughout its life cycle, and depending on the end-of-life option: brown refers to the landfill of the composite part, green and to reinforcement recycling.

Les recycleurs : une vision matériau
Le cas des composites à renfort carbone/matrice époxy

- Élargissement nécessaire à la filière de recyclage pour intégrer un nouveau matériau dans un contexte socio-économique

- Besoin de pouvoir agréger des indicateurs de performances techniques, économiques et environnementales pour les rendre accessibles en conception

FORUM de l'Economie Circulaire

3 juillet 2014
Bordeaux, INSEEC

université de BORDEAUX