

Vers une conservation de la valeur fonctionnelle pour une électronique de puissance soutenable

Li FANG

Soutenance de Doctorat

9 Janvier 2025

PhD Defense

January 9th, 2025

Spécialité : Génie Industriel, conception et production

Direction

- Maud RIO - Maîtresse de Conférence, UGA, Directrice de thèse
- Pierre LEFRANC - Maître de Conférence, Grenoble INP, Co-encadrant de thèse

Jury

- Frédéric SEGONDS - Professeur des Universités, ENSAM
- Bruno ALLARD - Professeur des Universités, INSA Lyon
- Lionel ROUCOULES - Professeur des Universités, ENSAM
- Laurent DUPONT - Chargé de Recherche, Université Gustave Eiffel
- Carole CHARBUILLET - Maîtresse de Conférence, Institut Arts et Métiers

Projet ANR : VIVAE

VIVAE a pour objectif d'explorer des scénarios d'économie circulaire pour la conservation de la valeur fonctionnelle de l'électronique de puissance

- Evaluation de l'état de l'EP à la fin d'usage
- Décision des scénarios circulaires
- Surveillance des impacts environnementaux potentiels
- Intégration d'éco-conception

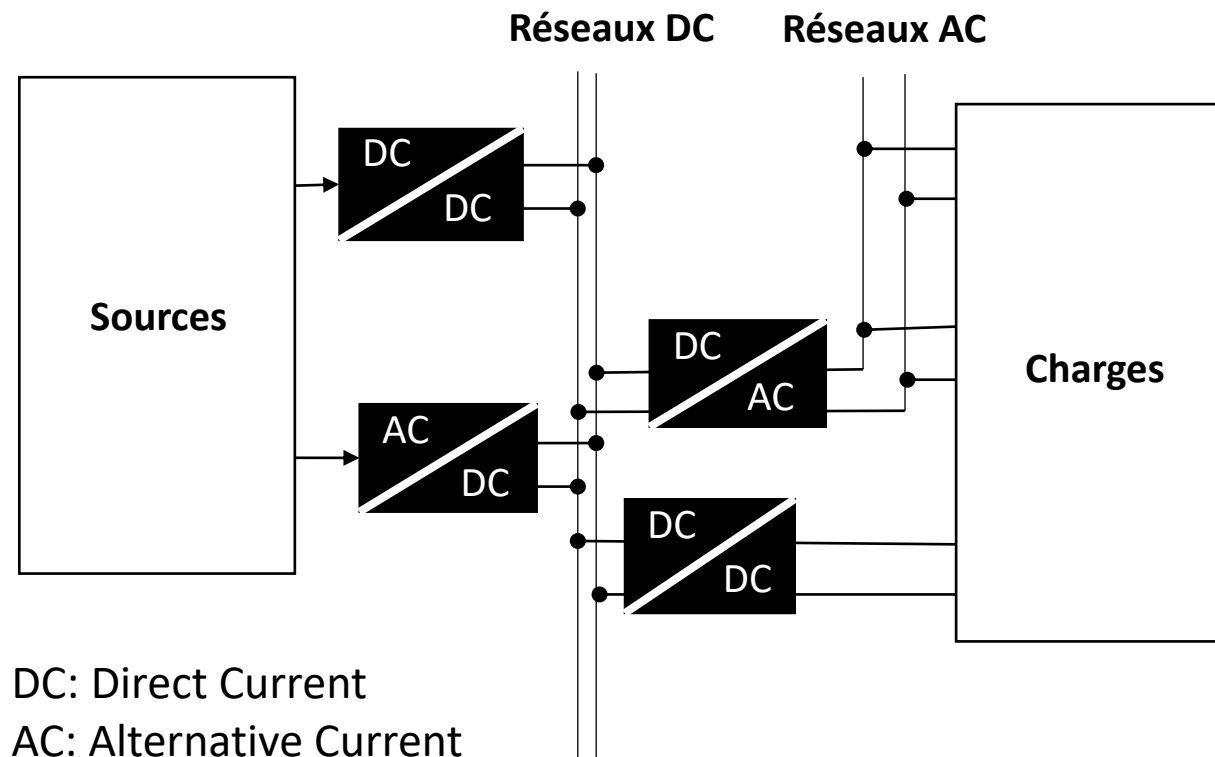


Rôles de l'Electronique de Puissance

- Contrôle et Conversion de l'énergie électrique afin de répondre aux besoins des équipements électroniques.
- Les moteurs clés vers un mix énergétique plus renouvelable dans nos sociétés contemporaines.



Onduleur PV DC-AC



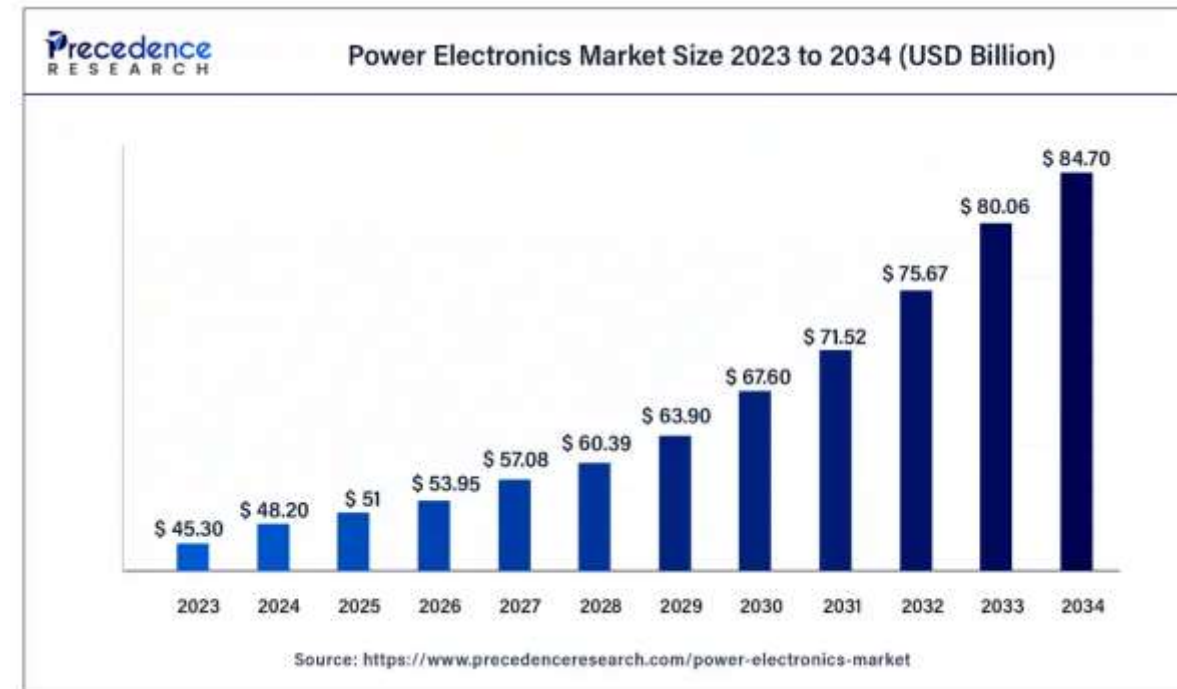
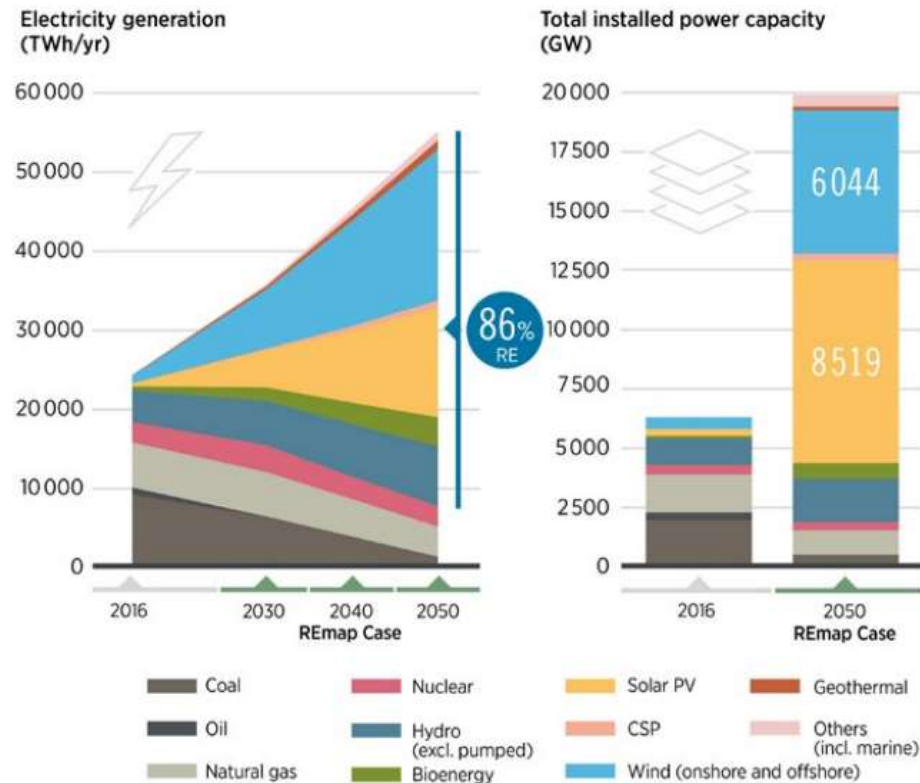
Demande Croissante en Electronique de Puissance

- Contrôle et Conversion de **l'énergie électrique** afin de répondre aux besoins des équipements électroniques.
- Les moteurs clés vers un mix énergétique plus renouvelable dans nos sociétés contemporaines.
- **86 %** d'énergie renouvelable dans le mix de production d'électricité d'ici 2050.

Feuille de route Agence internationale sur les énergies renouvelables (IRENA), 2019)



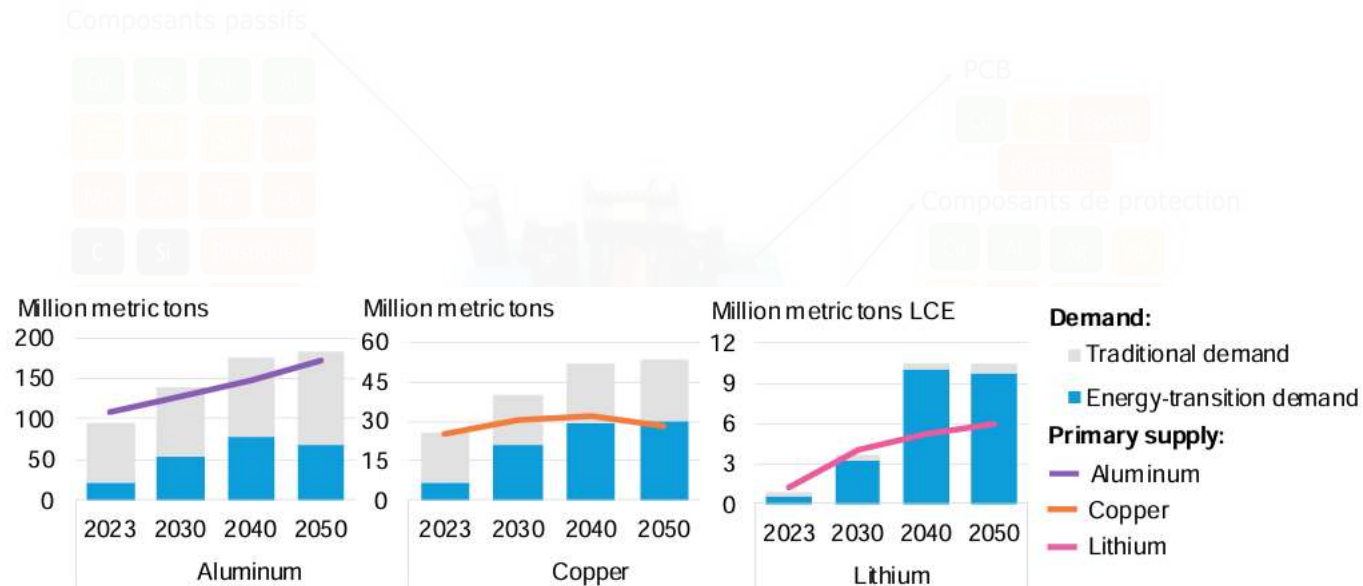
Onduleur PV DC-AC



La demande de produits d'EP sur le marché explose
(precedence research, cabinet de conseil en marché, 2024)

[1] <https://www.precedenceresearch.com/power-electronics-market>

Enjeux environnementaux de l'Electronique de Puissance



Source: BloombergNEF. Note: LCE is lithium carbonate equivalent. The Net Zero Scenario is an economics-led evolution of the energy economy to achieve net-zero emissions globally by 2050.

B. Rahamani, 2022

*les carreaux verts correspondent aux matériaux les plus recyclables jusqu'au noir pour les éléments les moins recyclables dans ces systèmes.

Consommation des ressources naturelles : matières premières, eau, énergie

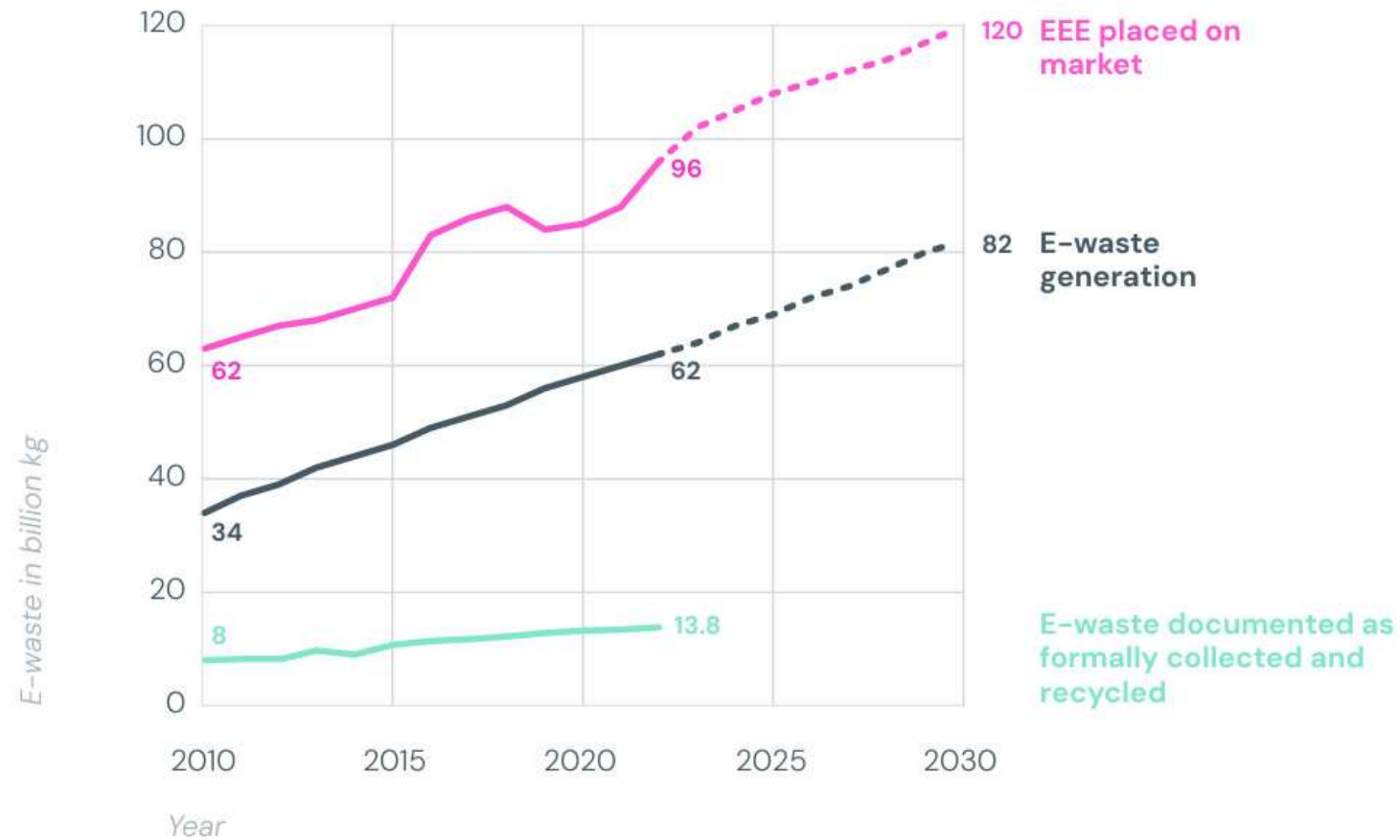


Mine de cuivre et d'or de Saindak, au Pakistan. (Image : Wikipédia)

Forte hétérogénéité: jusqu'à **53** éléments métalliques intégrés (UNEP, 2011).

Un décalage prévisible entre l'offre et la demande **en métaux**

Enjeux environnementaux de l'Electronique de Puissance



[1] Global E-waste Monitor(2024)

Consommation des ressources naturelles : matières premières, eau, énergie



Mine de cuivre et d'or de Saindak, au Pakistan. (Image : Wikipédia)

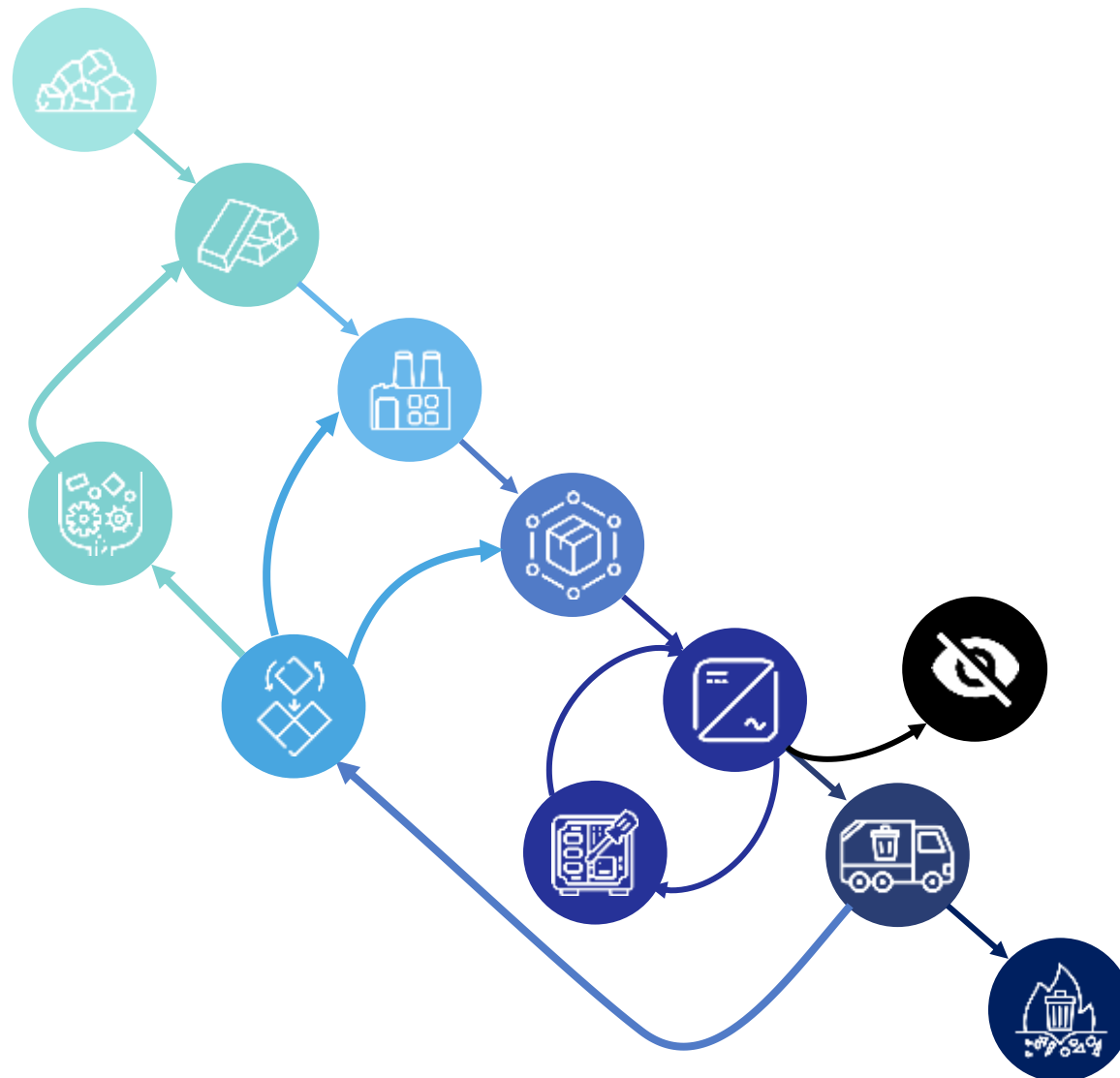
Émissions dans l'eau, le sol et l'air (toxines : Hg, Pb, As, Se, Ca, Cr, retardateurs de flamme).



+80 Mt de déchets électroniques mondiaux d'ici 2030 (E-waste monitor, 2024).

Scénarios de Circularité pour réintroduire la valeur fonctionnelle résiduelle

[Potting et al., 2017]



Réparation

la réparation ou la maintenance d'un **produit** défaillant pour prolonger sa durée de vie technique.



Réutilisation

Réutilisation du **produit** ou de ses **sous-parties / composants** pour la même ou une autre fonction après sa première utilisation.

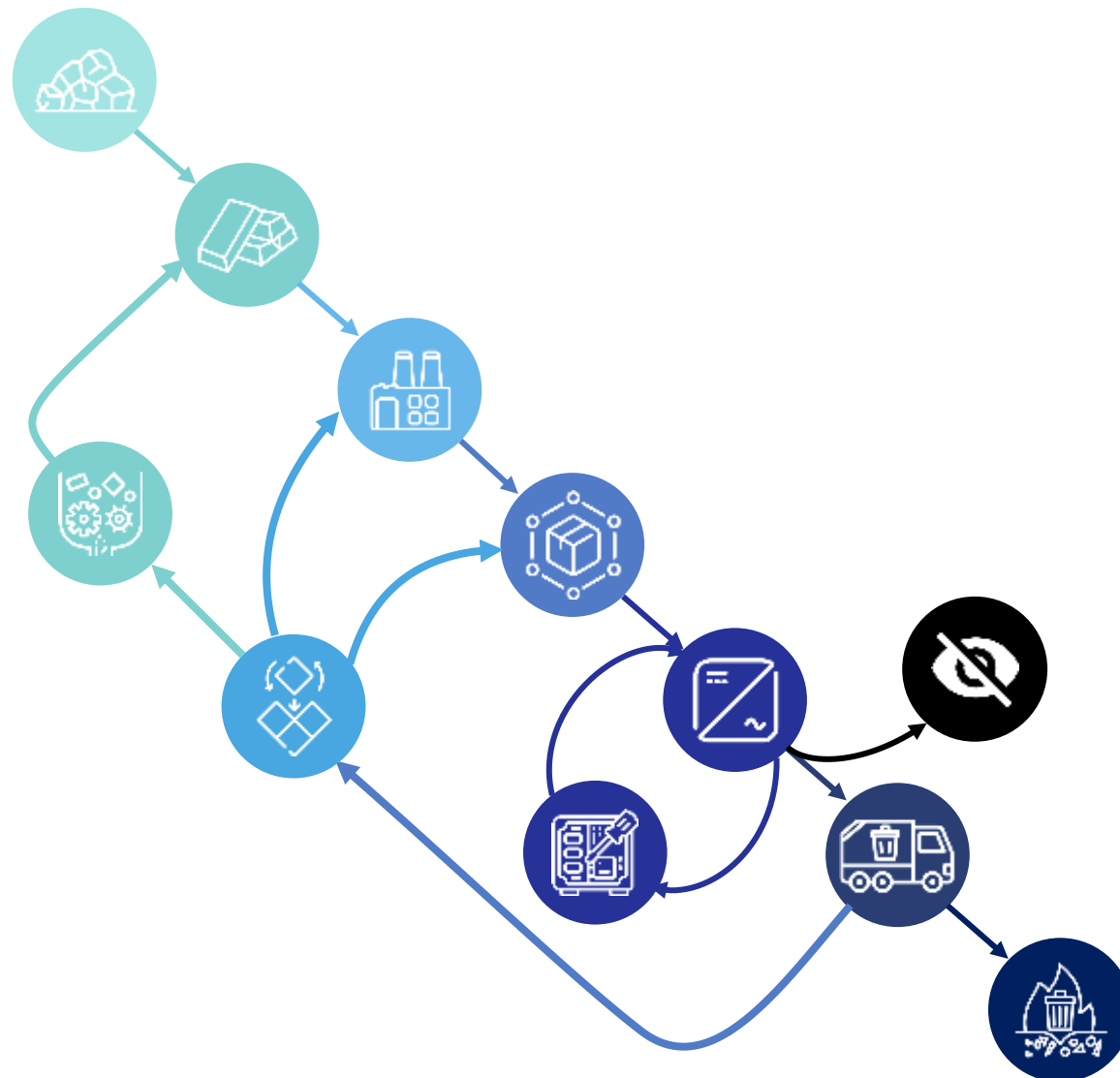


Recyclage

Broyage des produits et la récupération des **matériaux**

Scénarios de Circularité pour réintroduire la valeur fonctionnelle résiduelle

[Potting et al., 2017]



Réparation

la réparation ou la maintenance d'un **produit** défaillant pour prolonger sa durée de vie technique.



Réutilisation

Réutilisation du **produit** ou de ses **sous-parties / composants** pour la même ou une autre fonction après sa première utilisation.

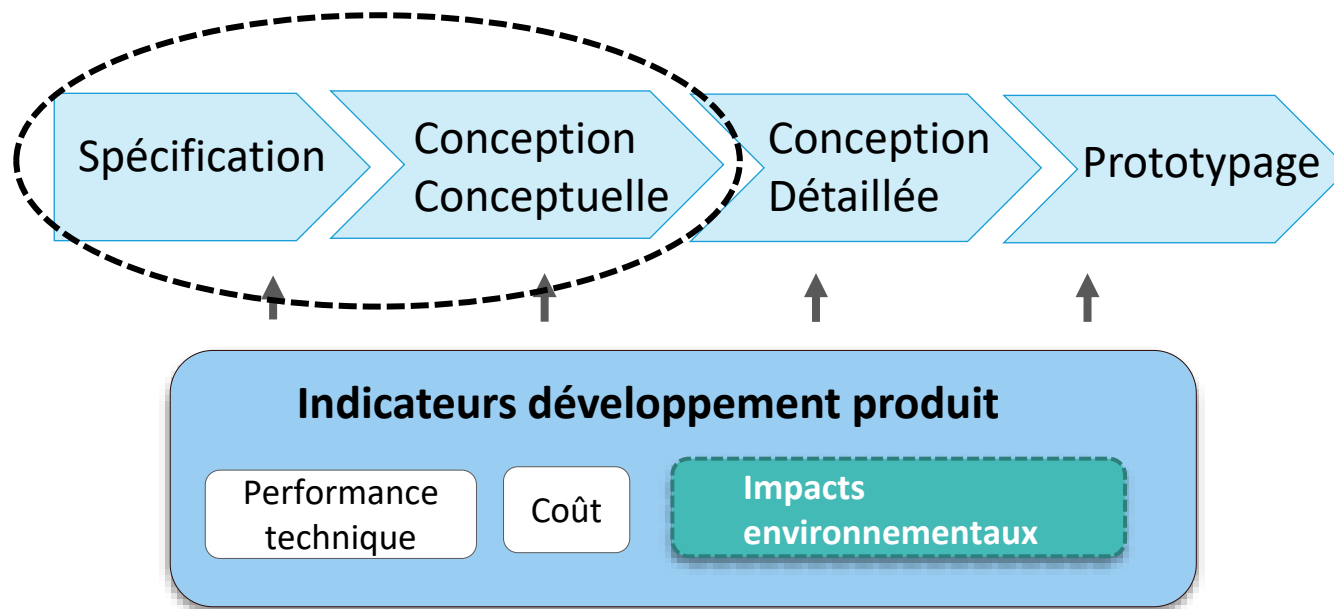


Recyclage

Broyage des produits et la récupération des **matériaux**

Nécessité d'une Démarche d'écoconception dans le Processus de Développement Produit

Jusqu'à **80 %** des impacts environnementaux des produits sont déterminés lors de la phase de **conception**. [1]

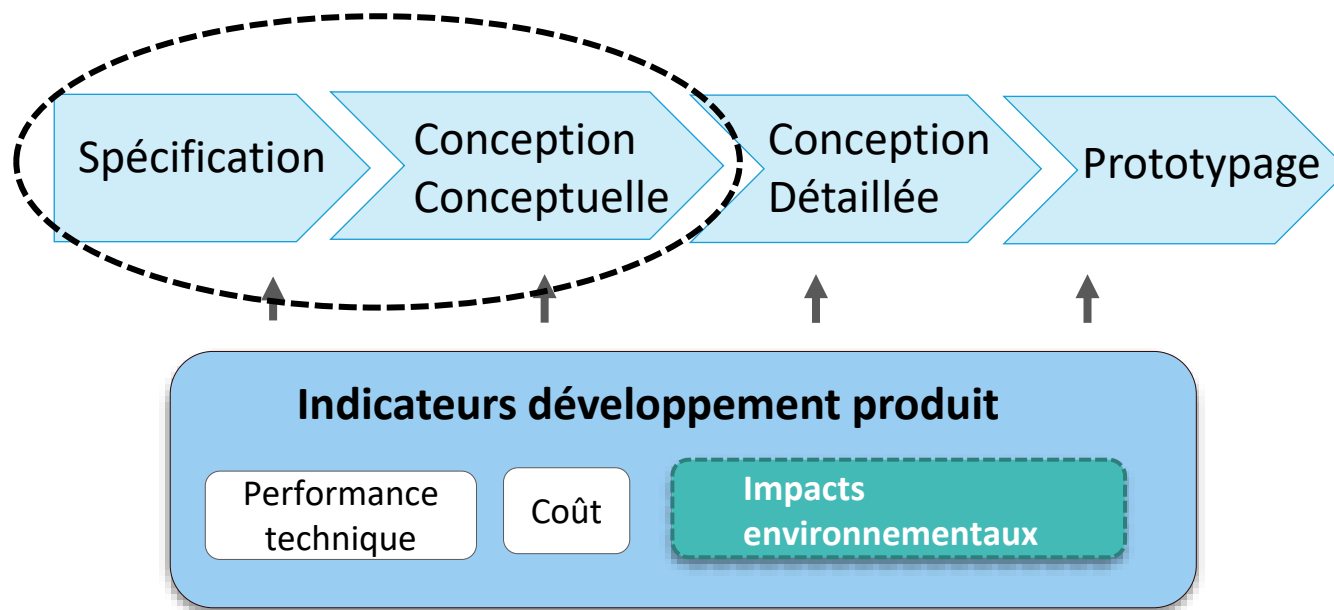


[1] Dewulf, W., Duflou, J., & Sas, P. (2003). *A pro-active approach to ecodesign: framework and tools*.

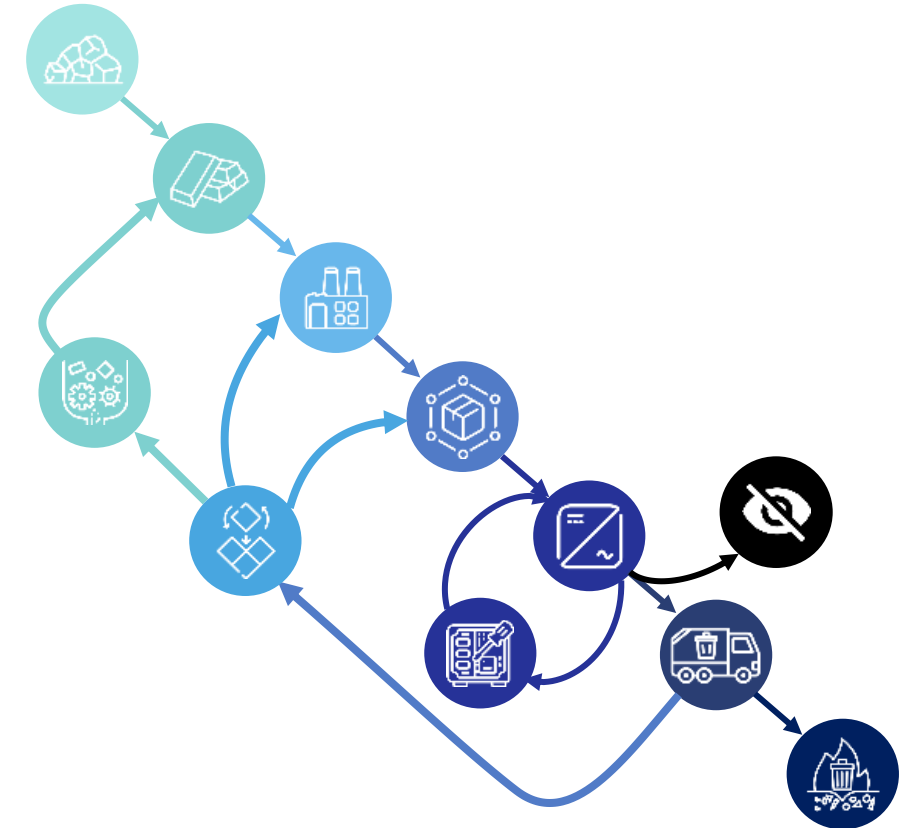
[2] Pahl G, Beitz W. Engineering design: a systematic approach[M]. Springer Science & Business Media, 2013.

Nécessité d'une Démarche d'écoconception dans le Processus de Développement Produit

Jusqu'à **80 %** des impacts environnementaux des produits sont déterminés lors de la phase de **conception**. [1]



Cycle de vie des produits d'EP



[1] Dewulf, W., Duflou, J., & Sas, P. (2003). *A pro-active approach to ecodesign: framework and tools*.



Question de Recherche:

Comment **l'écoconception** peut-elle être efficacement **opérationnalisée** dans le **processus de développement des produits** d'électronique de puissance ?



1 *Modèle paramétrique*



2 *Acteurs & stratégies*



3 *Processus d'éco-conception collaboratif*





Contextes et
Motivations

Positionnement
de recherche

Résultats de recherche

Conclusion et
perspectives

Etat de l'art : vue d'ensemble des approches d'écoconception développées en EP



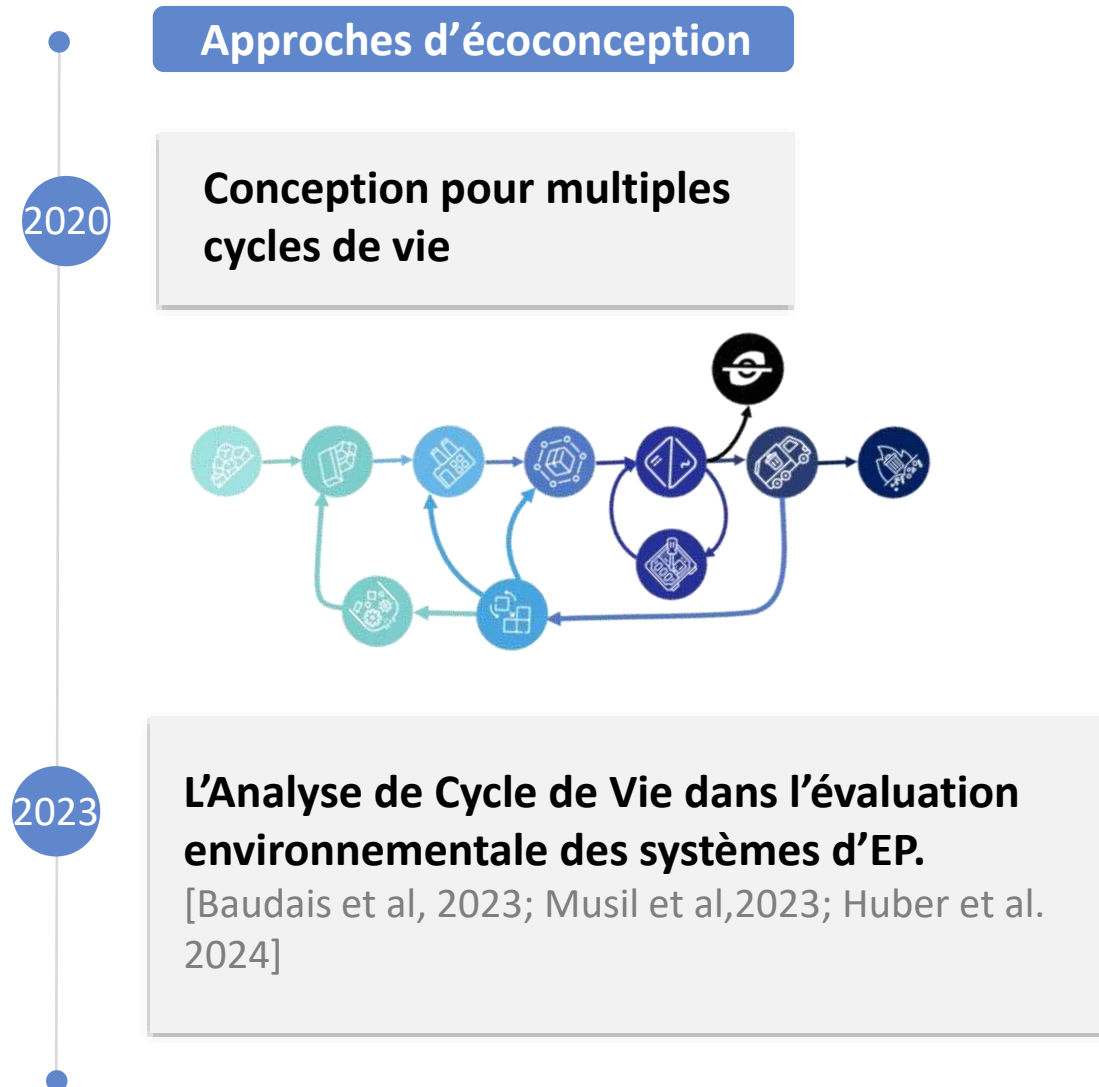
Mono-étape / Mono-indicateur
Risque : transfert d'impacts



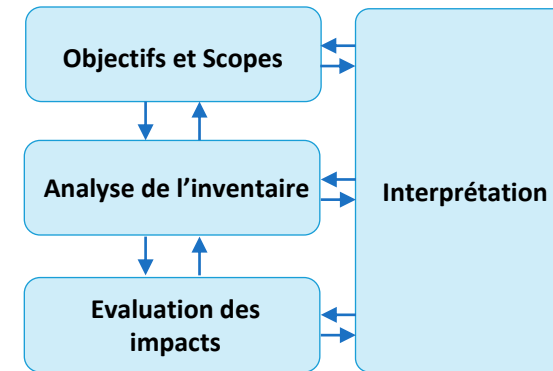
Vision systématique
Multi-étapes / Multi-indicateurs

[Fang and Turkbay Romano et al., 2023]

Etat de l'art : vue d'ensemble des approches d'écoconception développées en EP



Analyse de Cycle de Vie



[ISO14040/44:2006]

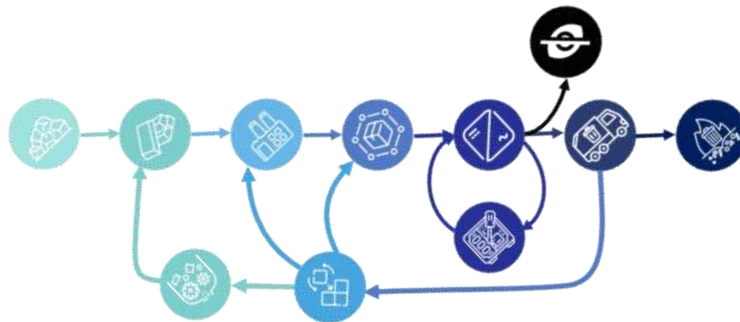
[Fang and Turkbay Romano et al., 2023]

Etat de l'art : vue d'ensemble des approches d'écoconception développées en EP

Approches d'écoconception

2020

Conception pour multiples cycles de vie



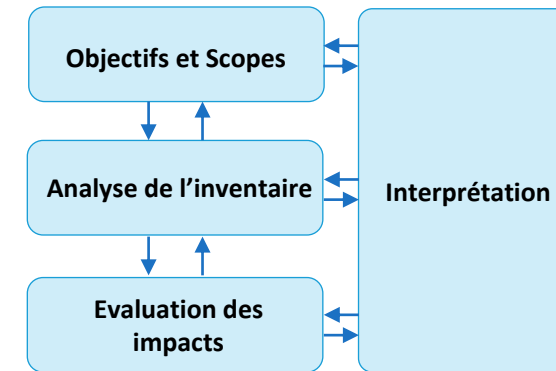
2023

L'Analyse de Cycle de Vie dans l'évaluation environnementale des systèmes d'EP.

[Baudais et al, 2023; Musil et al, 2023; Huber et al. 2024]



Analyse de Cycle de Vie



[ISO14040/44:2006]

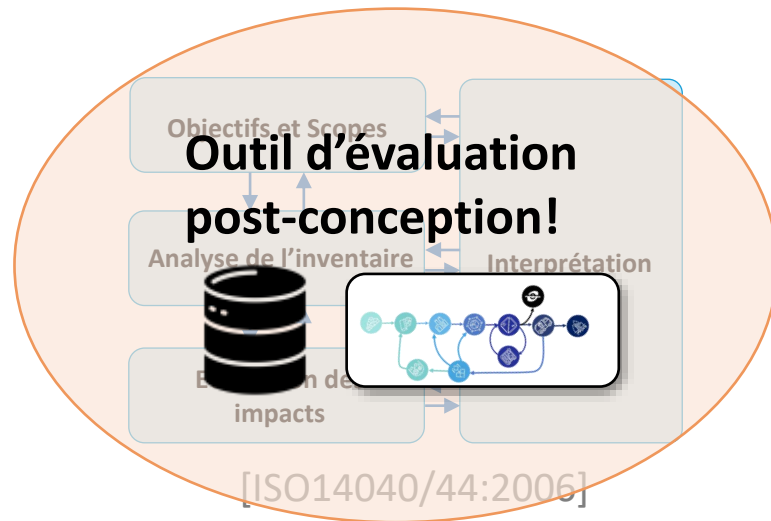


Opérationnalisation proactive de l'écoconception dans le PDP d'EP



[Fang and Turkbay Romano et al., 2023]

Problématique 1 : Approche de l'Analyse de Cycle de Vie Paramétrique Incomplète

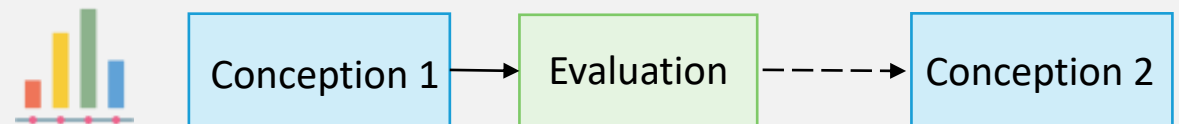


Inadaptabilité de la méthodologie fondée sur ACV traditionnelle pour soutenir des décisions en amont de PDP

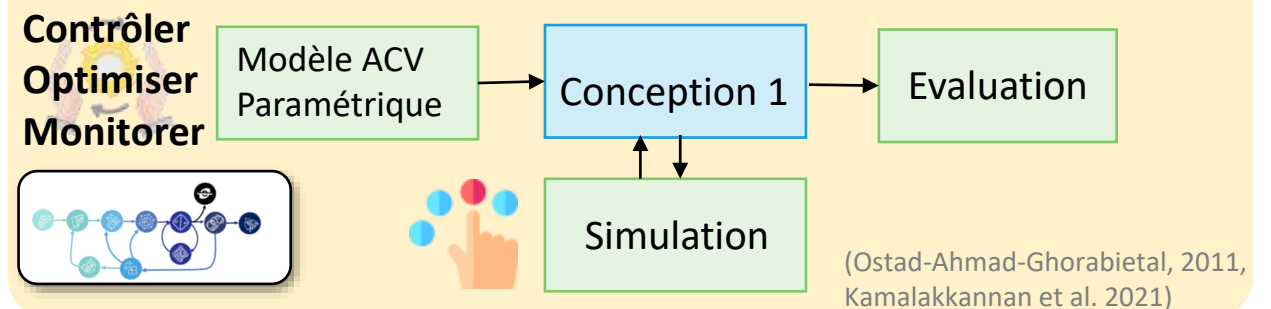


Approche ACV Paramétrique (ACV-P) (Ostad-Ahmad-Ghorabietal, 2008)

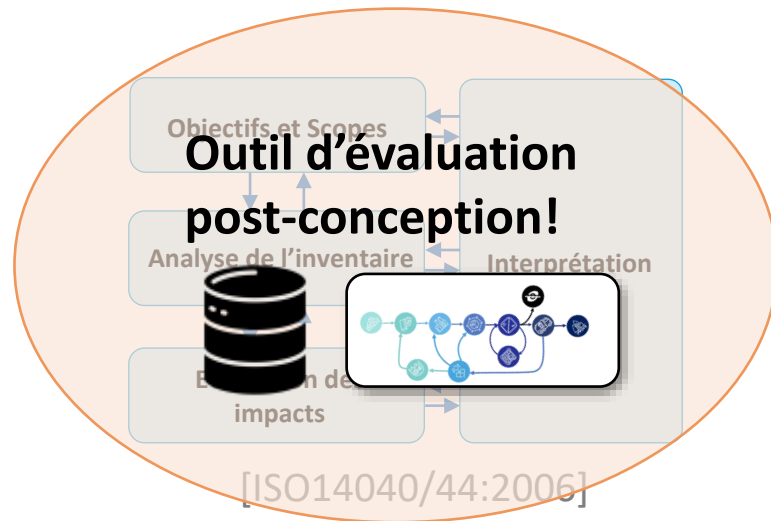
ACV Classique – Eco-conception réactive



ACV Paramétrique – Eco-conception proactive



Problématique 1 : Approche de l'Analyse de Cycle de Vie Paramétrique Incomplète

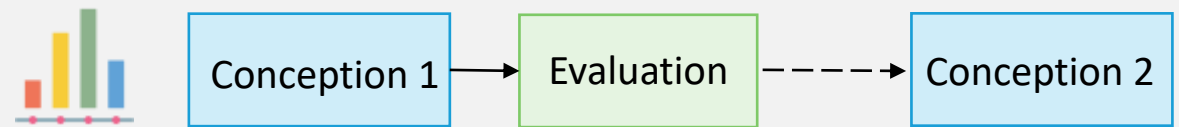


Inadaptabilité de la méthodologie fondée sur ACV traditionnelle pour soutenir des décisions en amont de PDP

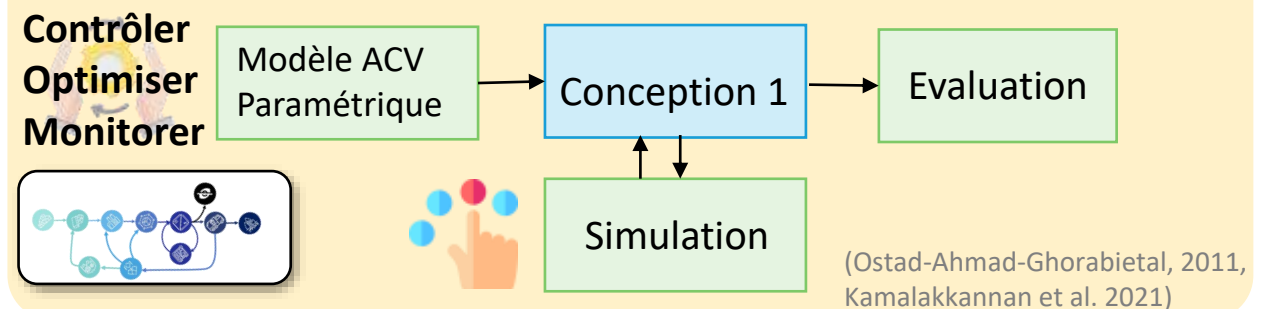


Approche ACV Paramétrique (ACV-P) (Ostad-Ahmad-Ghorabietal, 2008)

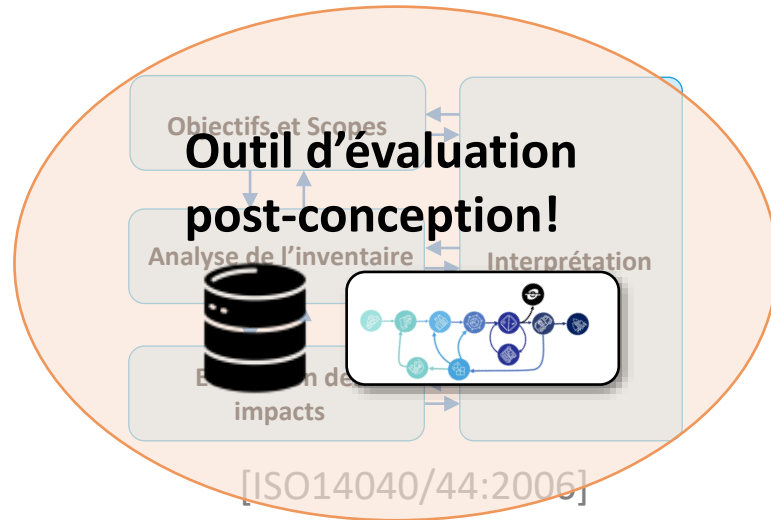
ACV Classique – Eco-conception réactive



ACV Paramétrique – Eco-conception proactive



Problématique 1 : Approche de l'Analyse de Cycle de Vie Paramétrique Incomplète



Inadaptabilité de la méthodologie fondée sur ACV traditionnelle pour soutenir des décisions en amont de PDP



Approche ACV Paramétrique (ACV-P) (Ostad-Ahmad-Ghorabietal, 2008)

ACV Classique – Eco-conception réactive



Conception 1

Evaluation

Conception 2

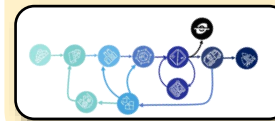
ACV Paramétrique – Eco-conception proactive

Contrôler
Optimiser
Monitorer

Modèle ACV
Paramétrique

Conception 1

Evaluation



Simulation

(Ostad-Ahmad-Ghorabietal, 2011,
Kamalakkannan et al. 2021)

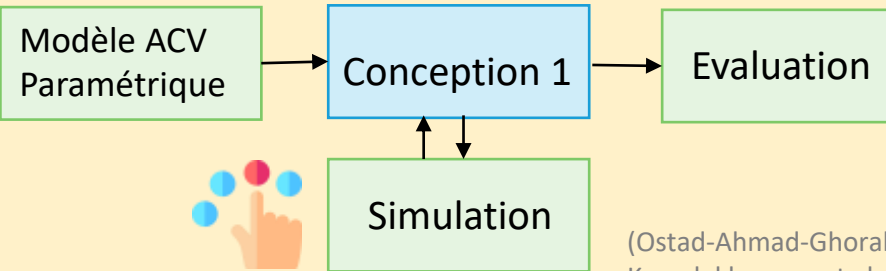


Absence de méta-modèle ACV-P dans la littérature qui modélise son cycle de vie circulaire en EP

Problématique 2 : Difficulté à Actionner les Paramètres d'écoconception pour l'EP & Stratégies Associées

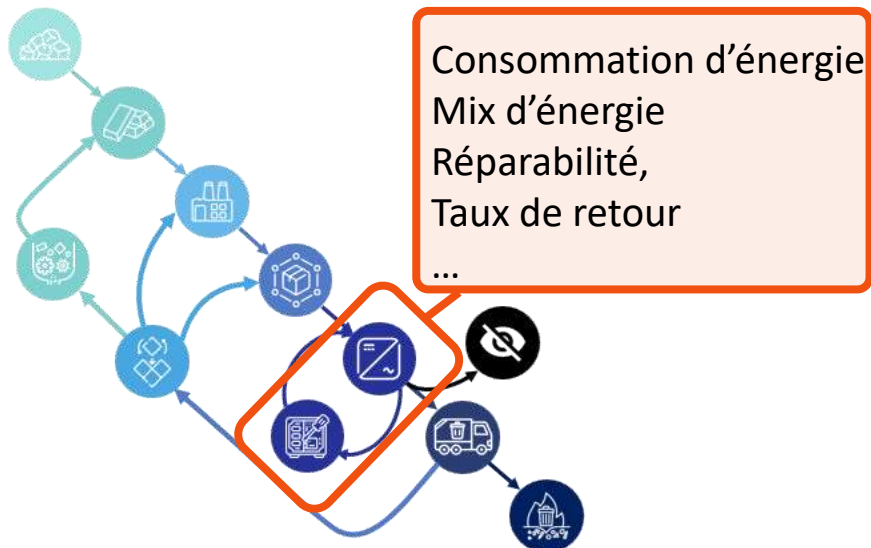
ACV Paramétrique

Contrôler
Optimiser
Monitorer



(Ostad-Ahmad-Ghorabietal, 2011,
Kamalakkannan et al. 2021)

Ensemble des paramètres influençants



Responsabilités de qui ?
Quelles stratégies ?

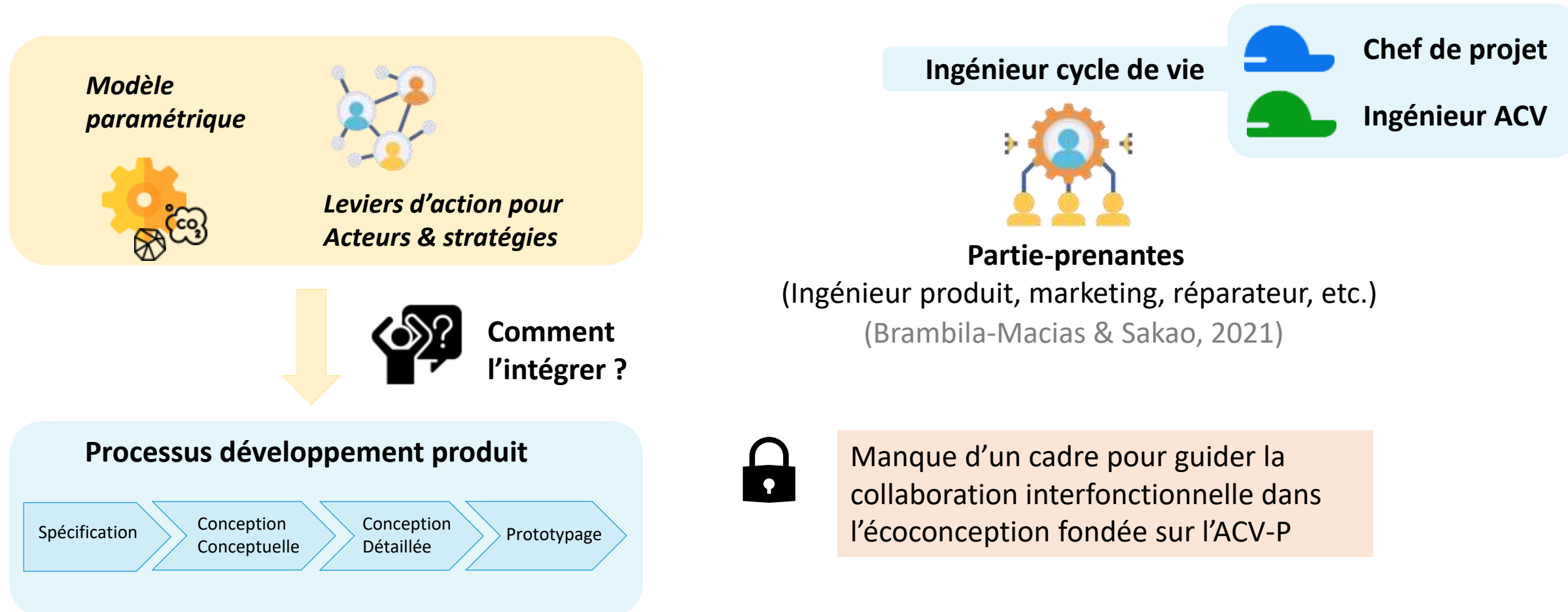


Manque de visibilité sur l'ensemble des
leviers d'écoconception pour les acteurs



Manque d'un cadre de recommandation
des stratégies d'écoconception adaptées
pour planifier l'engagement des acteurs

Problématique 3 : L'Ecoconception dans le PDP Non Opérationnelle



Question de recherche – Structure de recherche



Question de Recherche:

Comment **l'écoconception** peut-elle être efficacement **opérationnalisée** dans le **processus de développement des produits** d'électronique de puissance ?

Phase 1 : Supports d'écoconception

Problématique 1 :

Approche de l'Analyse de Cycle de Vie Paramétrique Incomplète

Problématique 2 :

Difficulté à Actionner les Paramètres d'écoconception pour l'EP & Stratégies Associées

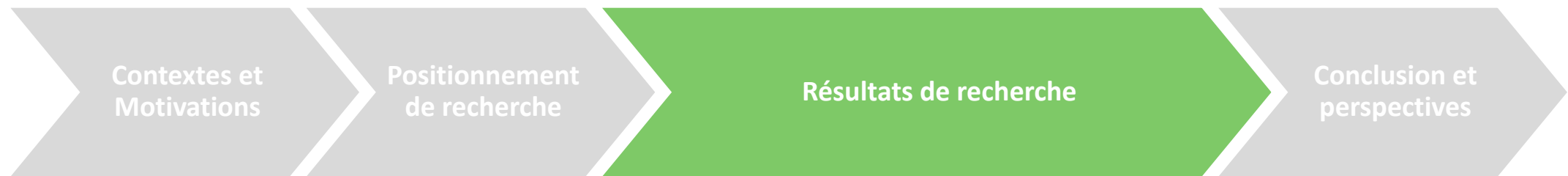
Phase 2 : Supports opérationnels

Problématique 3 :

L'Ecoconception dans le PDP Non Opérationnelle

Proposition Globale

Méthode d'écoconception intégrée fondée sur l'approche de l'ACV paramétrique



1 **Modèle paramétrique**



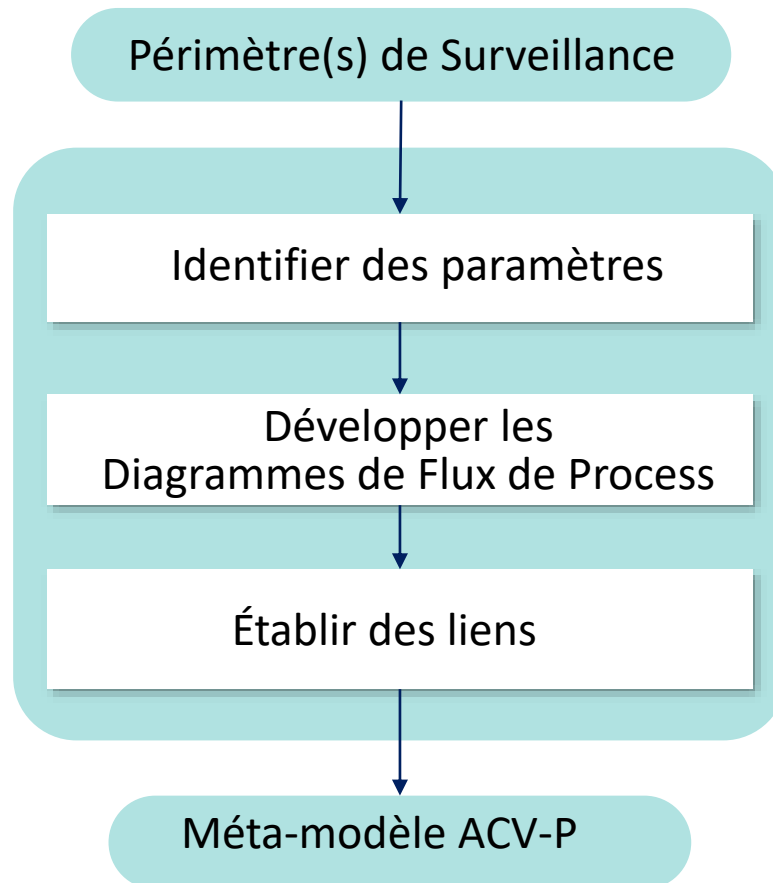
2 **Acteurs & stratégies**



3 **Processus d'éco-conception collaboratif**



Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP



Contrôler, Optimiser et Monitorer les impacts environnementaux générés **tout au long du cycle de vie** qui incluent les scénarios **circulaires**

Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP



Contrôler, Optimiser et Monitorer les impacts environnementaux générés **tout au long du cycle de vie** qui incluent les scénarios **circulaires**



Conception Usage

Consommation
d'énergie/ressources;
Durée de service;
Durée de vie du produit;
Flux de déchets.



Conception Produit

Composition des
composants/matériaux;
Taille (Masse/volume).



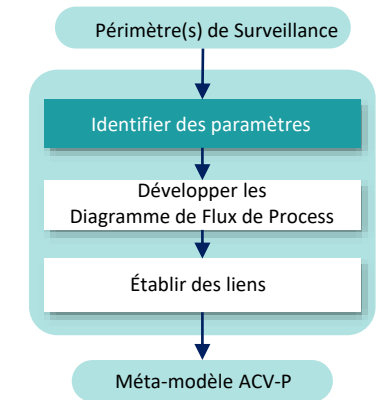
Conception Process

Volume/Durée de
processus;
Consommation
d'énergie/ressources;
Flux de déchets.



Conception R-scénario

Taux de
réparation/reutilisation
effective;
Nombre d'intervention;
Paramètres de process.



*Paramètres de contrôle identifiés issues de la littérature
(Chapitre 2.1 : «Background literature on parametric life cycle assessment»)*

Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP



Contrôler, Optimiser et Monitorer les impacts environnementaux générés **tout au long du cycle de vie** qui incluent les scénarios **circulaires**



Conception Usage

Consommation
d'énergie/ressources;
Durée de service;
Durée de vie du produit;
Flux de déchets.



Conception Produit

Composition des
composants/matériaux;
Taille (Masse/volume).



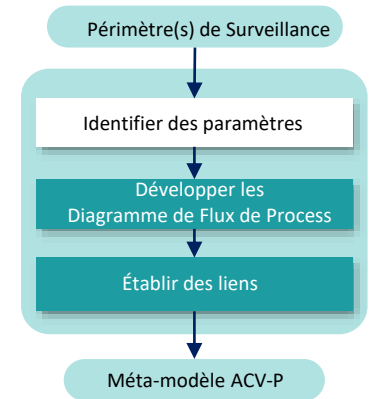
Conception Process

Volume/Durée de
processus;
Consommation
d'énergie/ressources;
Flux de déchets.



Conception R-scénario

Taux de
réparation/reutilisation
effective;
Nombre d'intervention;
Paramètres de process.

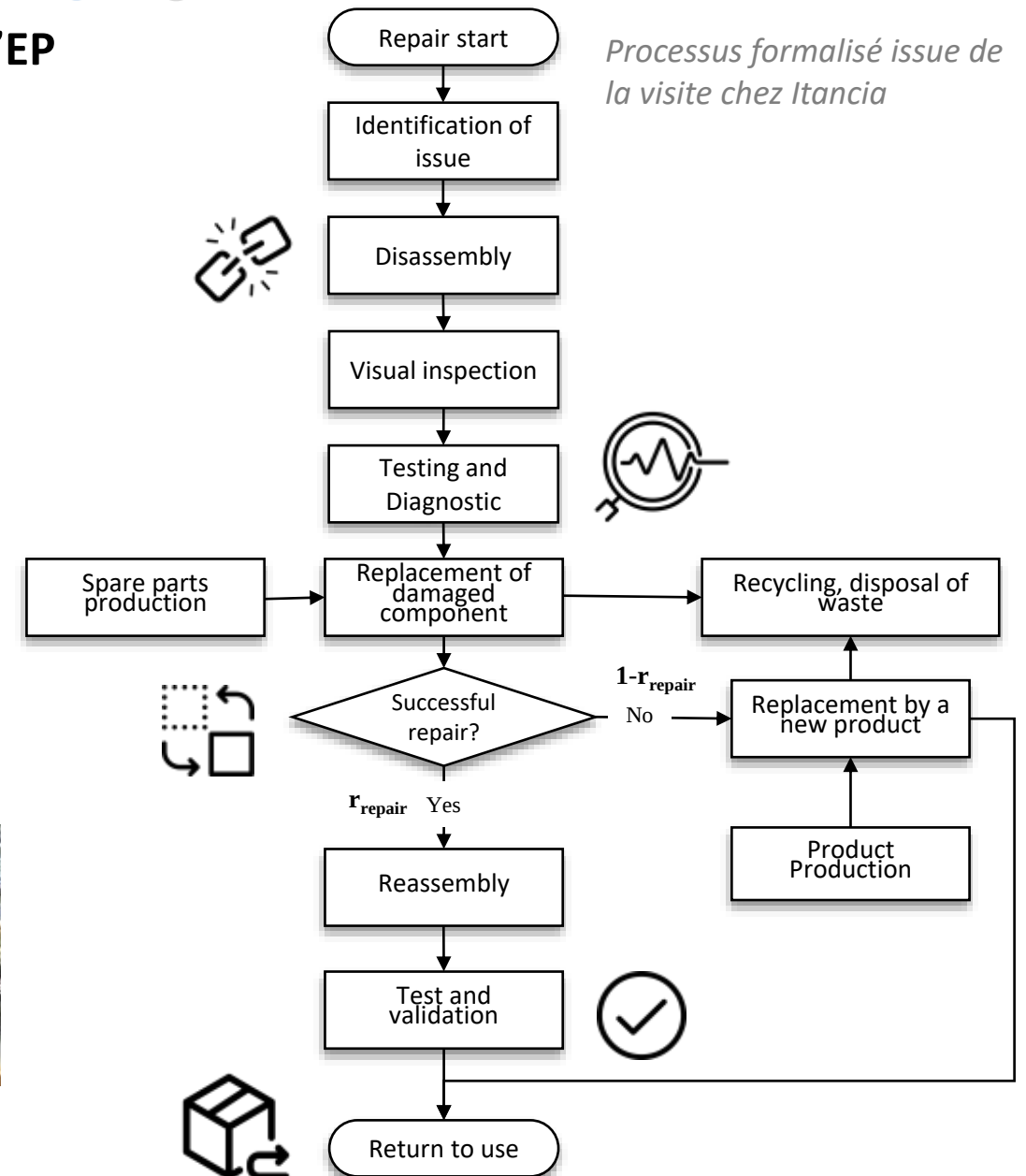
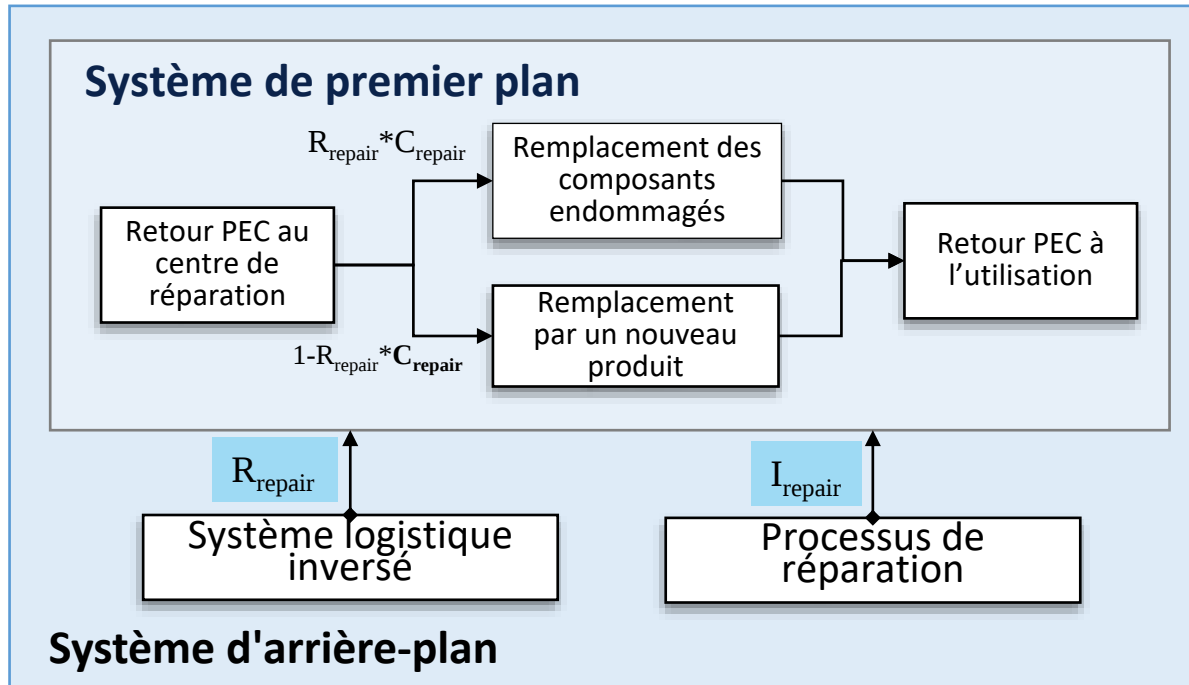


Développer les Diagramme de flux de process + Établir des liens



Exemple : Réparation

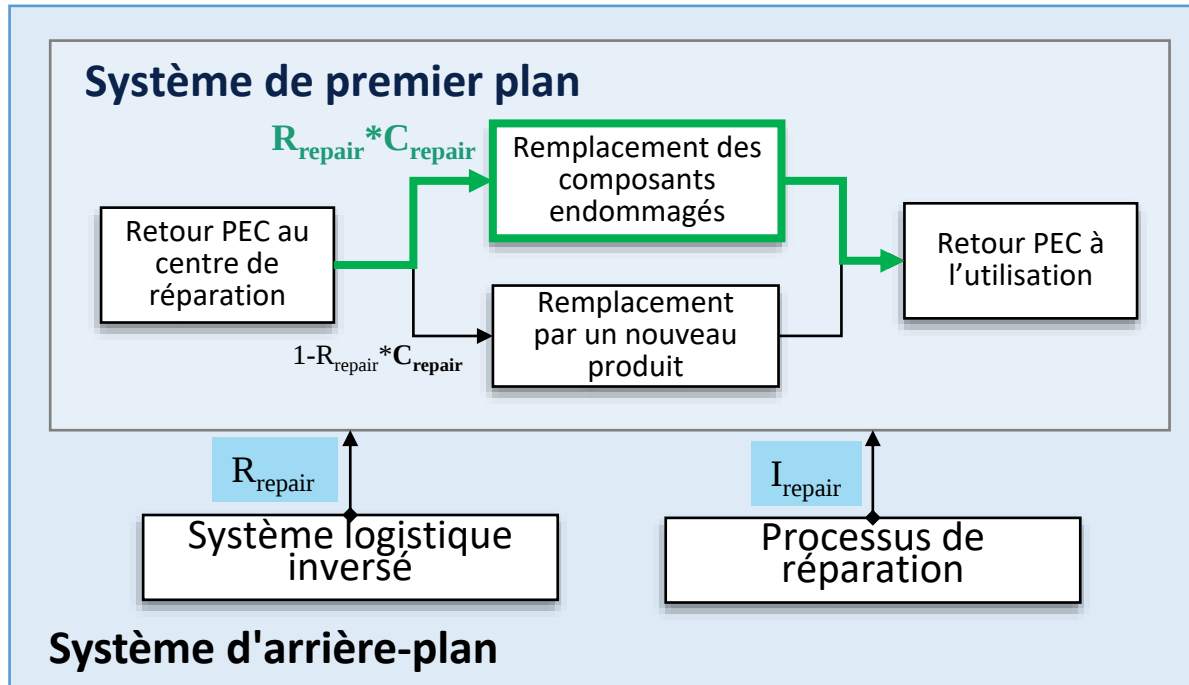
Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP



Onduleur PV DC-AC



Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP



$$EI_{SP,i} + I_{repair} \times M_P + EI_{recycling,SPi} + EI_{disposal,SPi}$$

Diagramme de flux de process - Réparation



Onduleur PV DC-AC



Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP

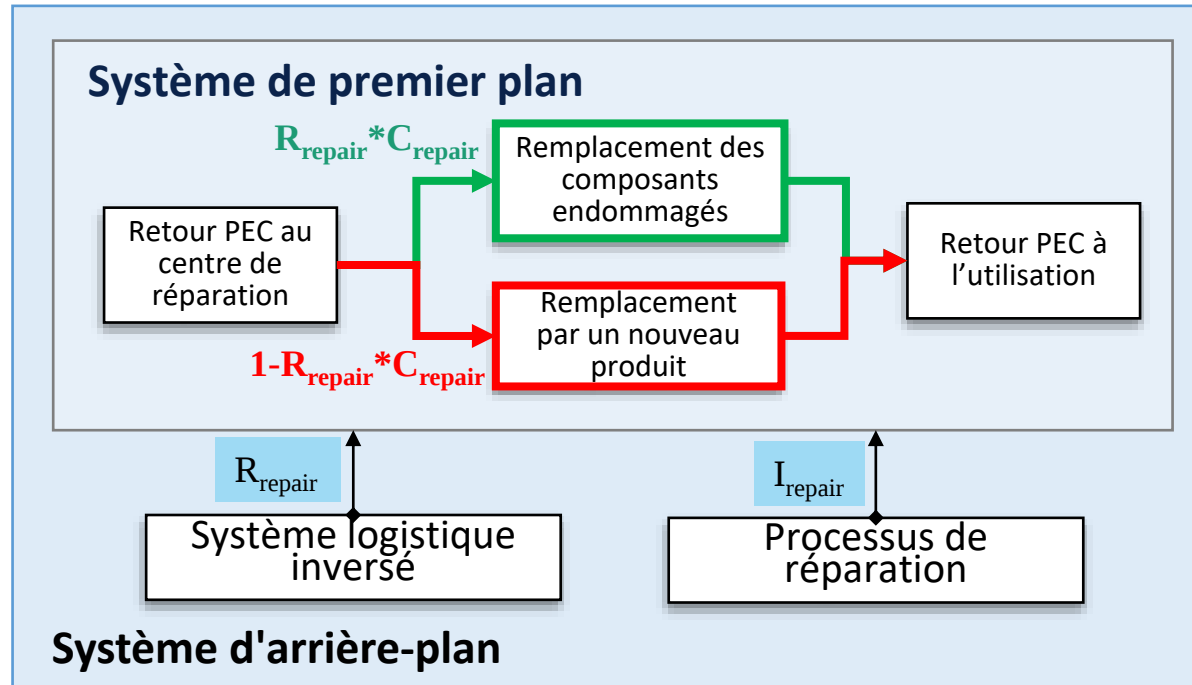


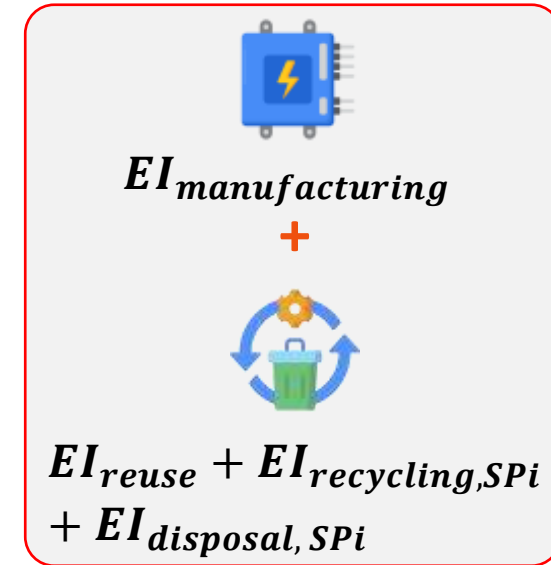
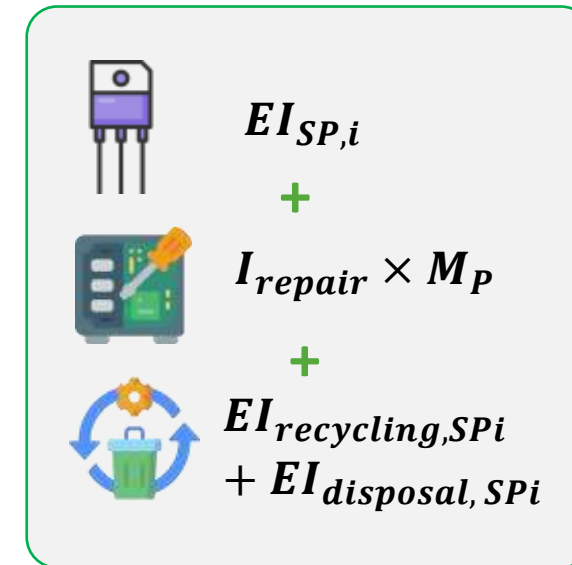
Diagramme de flux de process - Réparation



Onduleur PV DC-AC



Modèle ACV-P de l'étape de réparation



Méta-modèle ACV Paramétrique (ACV-P) pour les produits d'EP

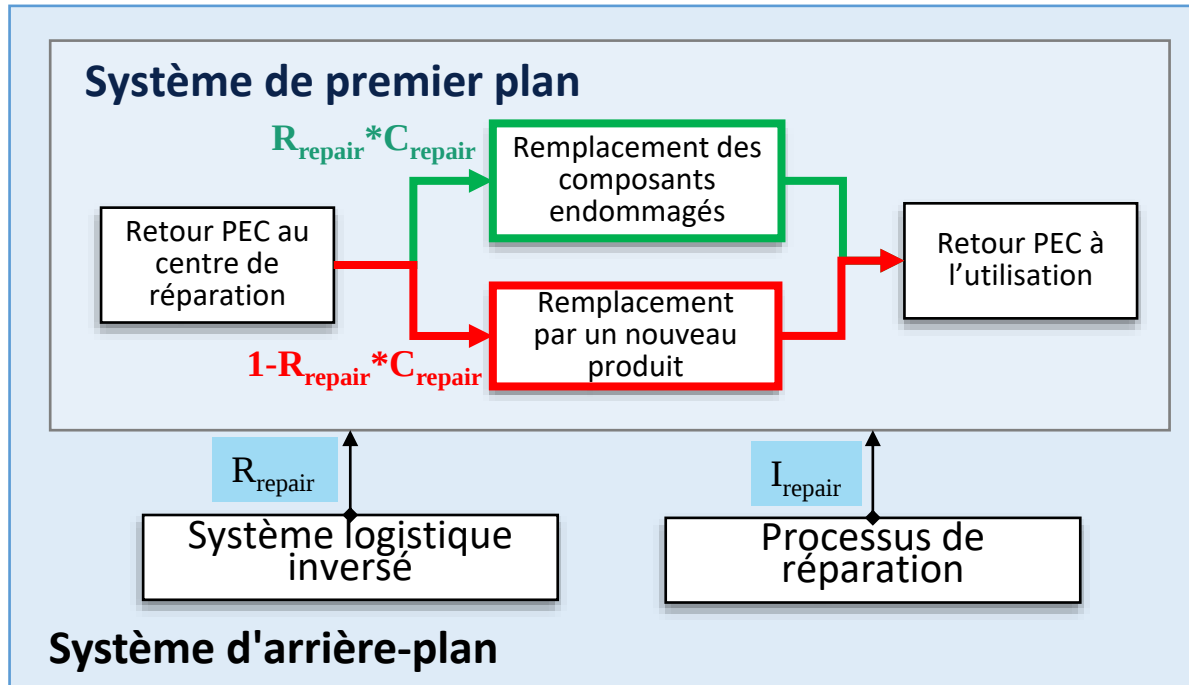


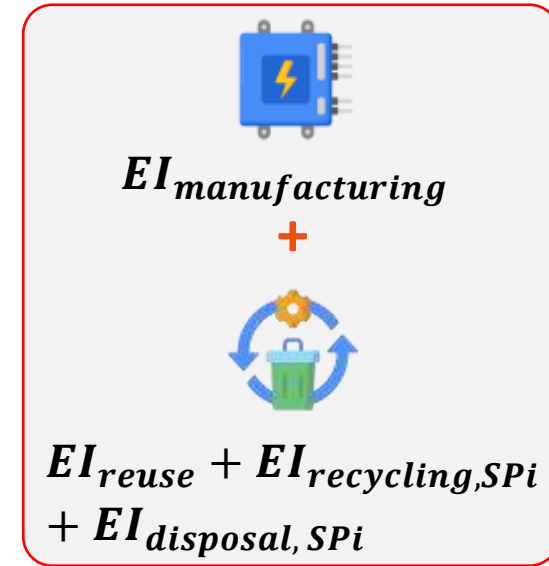
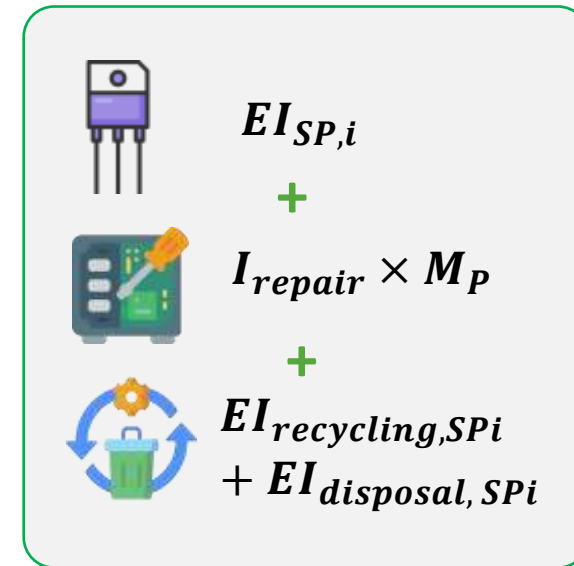
Diagramme de flux de process - Réparation



Onduleur PV DC-AC



Modèle ACV-P de l'étape de réparation



Apport 1

Construction de méta-modèle ACV-P pour le cycle de vie circulaire du produit d'EP

Synthèse Intermédiaire

Apport 1

Construction de méta-modèle
ACV-P pour le cycle de vie
circulaire du produit d'EP



*Script de Calcul
Open-source*

Fang, L., Rosset, Y., Lefranc, P., & Rio, M. (2024).
Parametric LCA meta-model for Power Electronics.
Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13919737>



python Brightway lca_algebraic

Limitations

01

Paramètres de conception
électrique pas encore intégrés



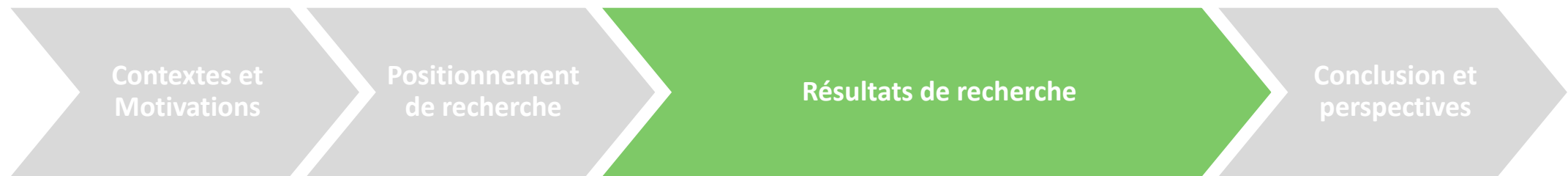
02

Modèle simplifié pour les processus
de réparation et de réutilisation

Perspectives

Établir des liens entre les paramètres de
conception électrique d'EP et les
paramètres de contrôle ACV-P

Détailler les paramètres de conception du
processus pour des scénarios spécifiques de
réparation et de réutilisation



1 *Modèle paramétrique*



2 
Acteurs & stratégies

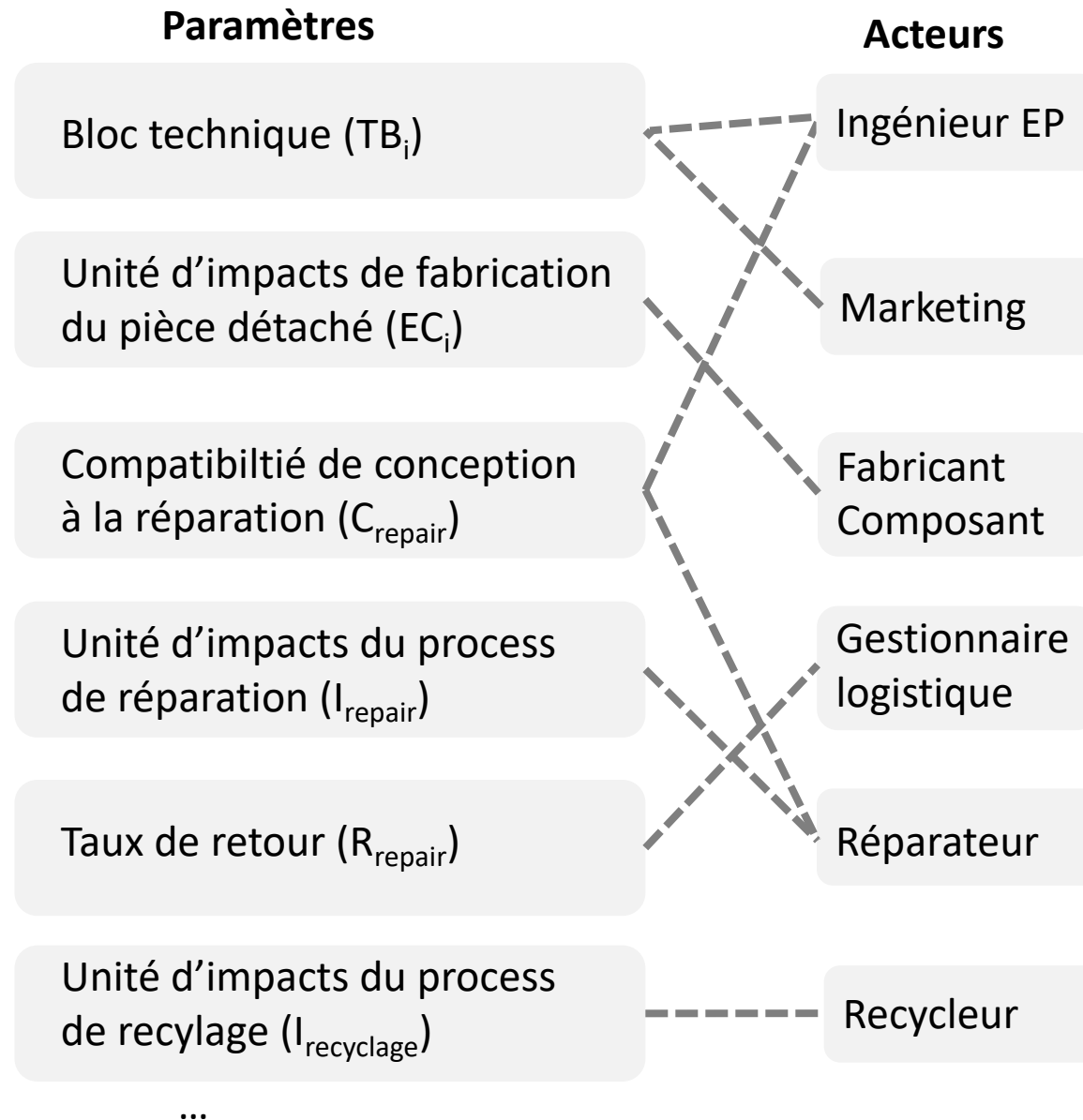
3 *Processus d'éco-conception collaboratif*



Leviers d'écoconception et les Strategies Associées

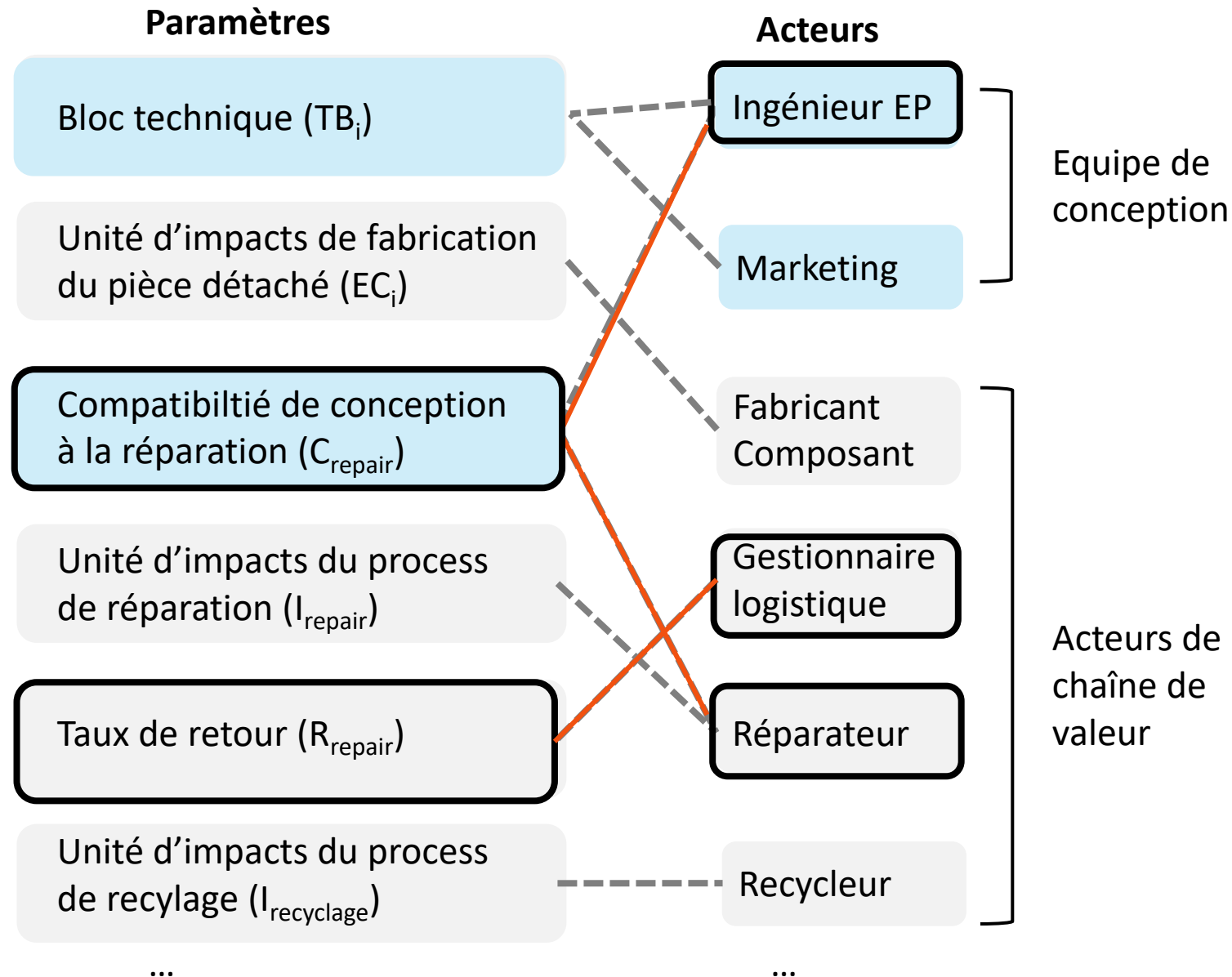


Exemple : Réparation



Acteurs de la chaîne de valeur mondiale de l'électronique de puissance identifiés dans la littérature (Richard Evans and Walter JV Vermeulen, 2021).

Leviers d'écoconception et les Strategies Associées



Exemple : Réparation

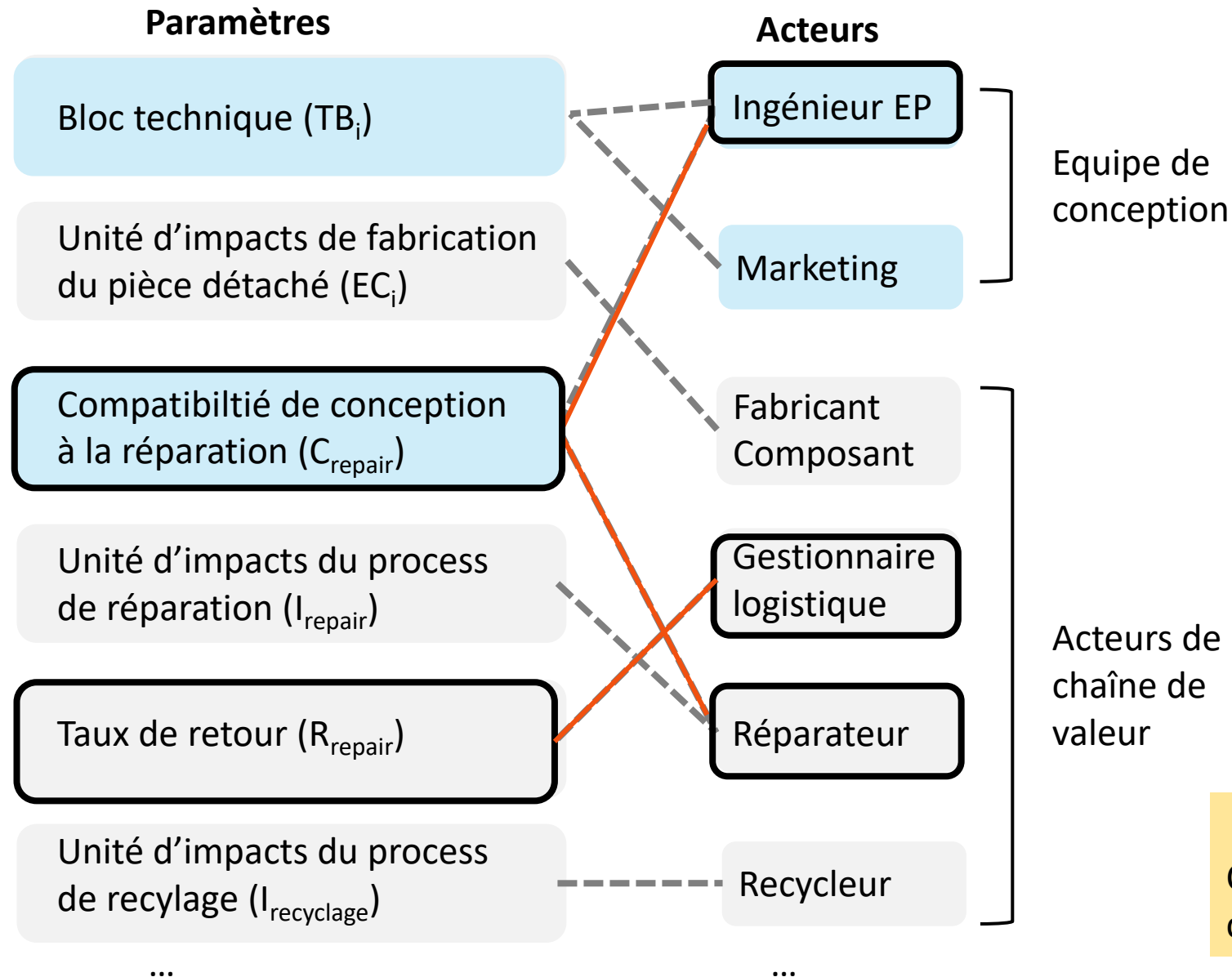
Paramètres de premier-plan
("foreground")



Paramètres d'arrière-plan
("background")



Leviers d'écoconception et les Strategies Associées



Exemple : Réparation

Paramètres de premier-plan



Paramètres d'arrière-plan



Apport 2

Clarification des leviers d'éco-conception pour chaque acteur

Leviers d'écoconception et les Strategies Associées

Paramètres Premier-plan

Composant électronique (EC_i)

Bloc technique (TB_i)

Efficacité énergétique (η)

Durée de vie technique (Y_p)

Nombre d'intervention de réparation (RP)

Compatibilité de conception à la réparation (C_{repair})

Usure fonctionnel durant le cycle de vie ($a_{EC,i}$)

Nombre de composant reutilisable (RU)

Stratégies d'éco-conception

Efficacité énergétique

Eco-dimensionnement

Eco-fiabilité

**OPTIMISATION
PERFORMANCE**



Refuser

Repenser

Réduire

**INNOVATION
FUNCTIONNELLE**



Réparer

Réutiliser

Repenser

**RESSOURCE
SUFFICIENCY**
Au Juste-besoin



Planifier l'engagement des acteurs

Apport 3 :
Recommandations pour les **stratégies** d'écoconception

Synthèse Intermédiaire

Apport 2 :

Association des leviers d'écoconception pour chaque **acteur**

Apport 3 :

Recommandations pour les **stratégies** d'écoconception

Problématique 2 :

Difficulté à **actionner les paramètres d'écoconception** pour l'EP et les stratégies associées

Limitations

01

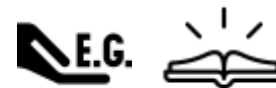
Le cadre de recommandation reste **conceptuel**

02

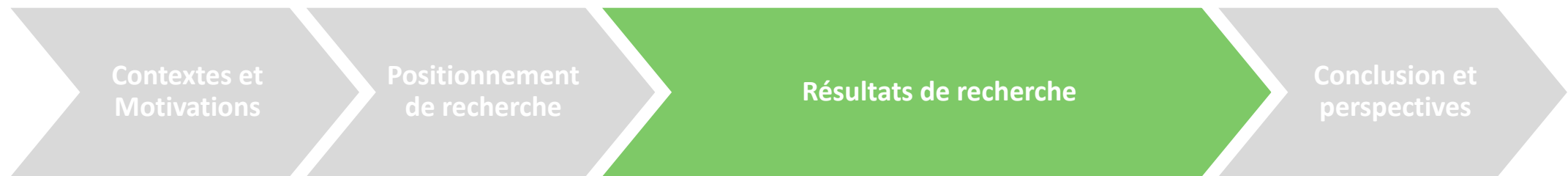
Les stratégies d'écoconception sont limitées aux **paramètres de premier-plan**

Perspectives

Établir un **manuel opérationnel** regroupant des bonnes pratiques pour chaque stratégie



Développer des stratégies d'écoconception **pour tous** les acteurs de la chaîne de valeur



1 *Modèle
paramétrique*



2 
*Acteurs &
stratégies*

3 *Processus d'éco-
conception
collaboratif*

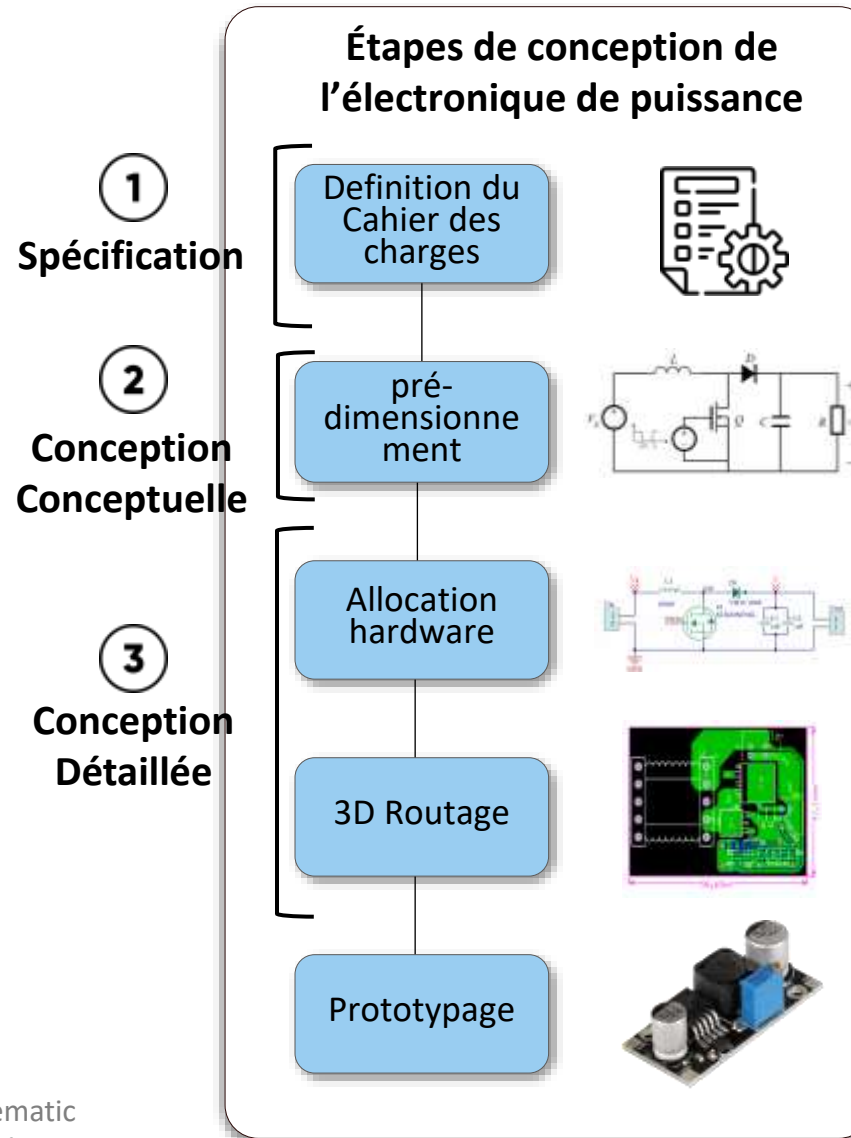


Processus de Développement de Produit d'EP

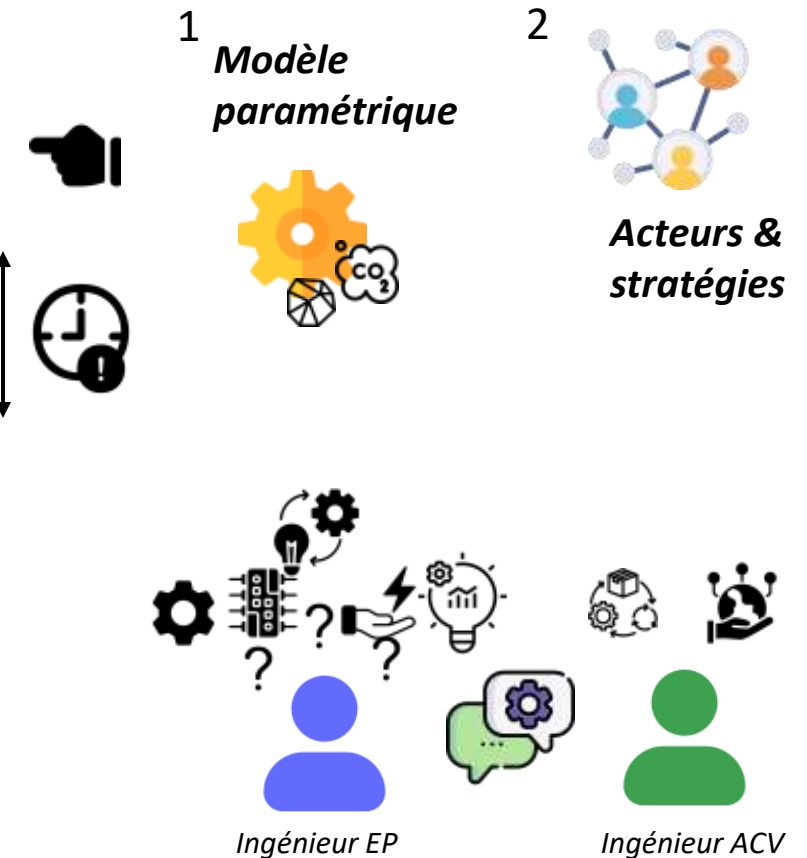
+10 entretiens avec des experts d'EP issus de l'industrie et de la recherche



Apport 4 :
Processus de développement de produit d'EP



Exigences pour la méthode intégrée



[1] Pahl G, Beitz W. Engineering design: a systematic approach[M]. Springer Science & Business Media, 2013.

Proposition : Processus Collaboratif de l'écoconception fondé sur l'ACV-P

Ingénieur EP

Marketing

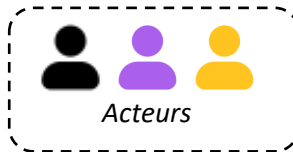
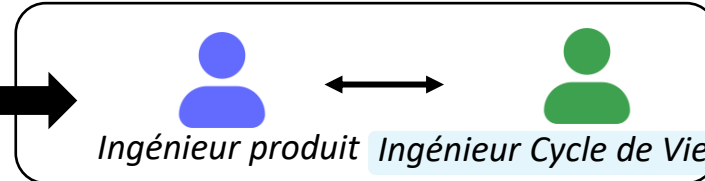
Achats

Supply chain

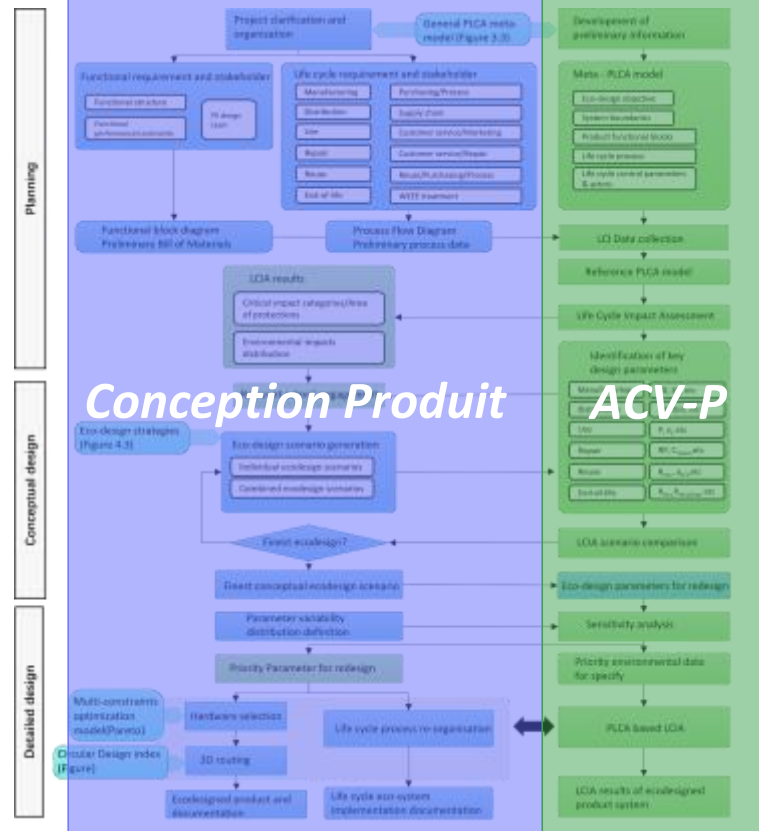
Réparateur

Recycleur

...

Engagement des
acteurs concernésEquipe d'écoconception
("at a minimum")

Chef de projet
Ingénieur ACV
(Brambila-Macias & Sakao, 2021)



Outil Eco-conception
Open-source
(Fang et al., 2024)



Script de Calcul
Open-source
(Fang et al., 2024)



python Brightway MINES ParisTech lca_algebraic

[1] Fang, L., (2024) Dépôt Ecocloud:
<https://ecocloud.s-mart.fr/?ParametricLcaBasedEcodesignProjectManageme>

[2] Fang, L., Rosset, Y., Lefranc, P., & Rio, M. (2024). Parametric LCA meta-model for Power Electronics. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13919737>

Proposition : Processus Collaboratif de l'écoconception fondé sur l'ACV-P

Ingénieur EP

Marketing

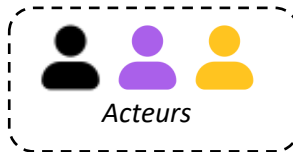
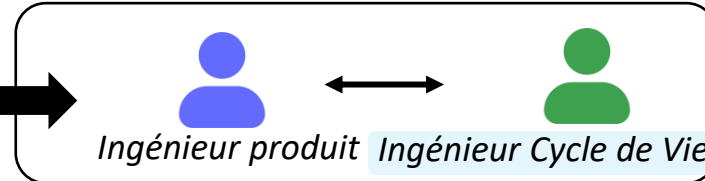
Achats

Supply chain

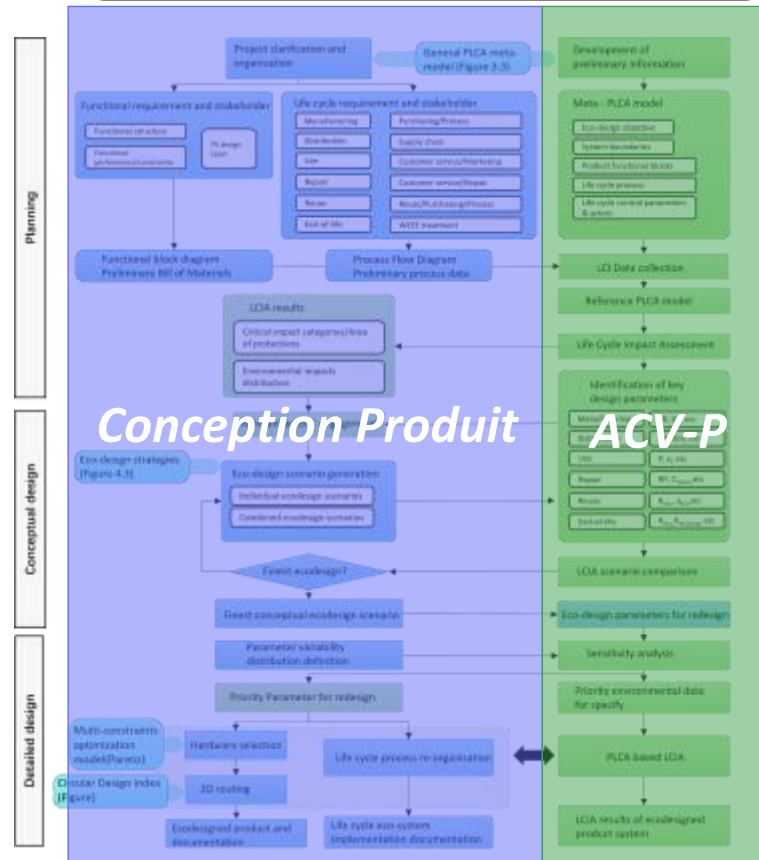
Réparateur

Recycleur

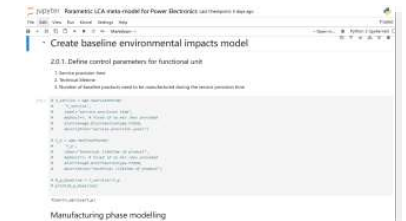
...

Engagement des
acteurs concernésEquipe d'écoconception
("at a minimum")

Chef de projet
Ingénieur ACV
(Brambila-Macias & Sakao, 2021)



Outil Eco-conception
Open-source
(Fang et al., 2024)



Script de Calcul
Open-source
(Fang et al., 2024)



Apport 5 :
Processus Collaboratif de l'écoconception fondé sur l'ACV-P

[1] Fang, L., (2024) Dépôt Ecocloud:
<https://ecocloud.s-mart.fr/?ParametricLcaBasedEcodesignProjectManageme>
[2] Fang, L., Rosset, Y., Lefranc, P., & Rio, M. (2024). Parametric LCA meta-model for Power Electronics. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13919737>

Cas d'étude

Etudes de cas

Convertisseurs DC-DC Buck



Collaboration (1 an) : G2ELab
Ingénieur ACV: Valentin Girard
 Yannis Rosset
Ingénieur EP : Benoît Sarrazin

Carte son



Collaboration (6 mois) : DIGIGRAM
 Stagiaire cycle de vie : Elouan Lanoe
Détaillé au manuscrit
 Equipe de conception produit



Ecoconception pour une maquette pédagogique



Tester le processus
 d'écoconception collaboratif

Participants

(Intégrateur Ecoconception)



Chef du projet



Ingénieur ACV



Ingénieur EP



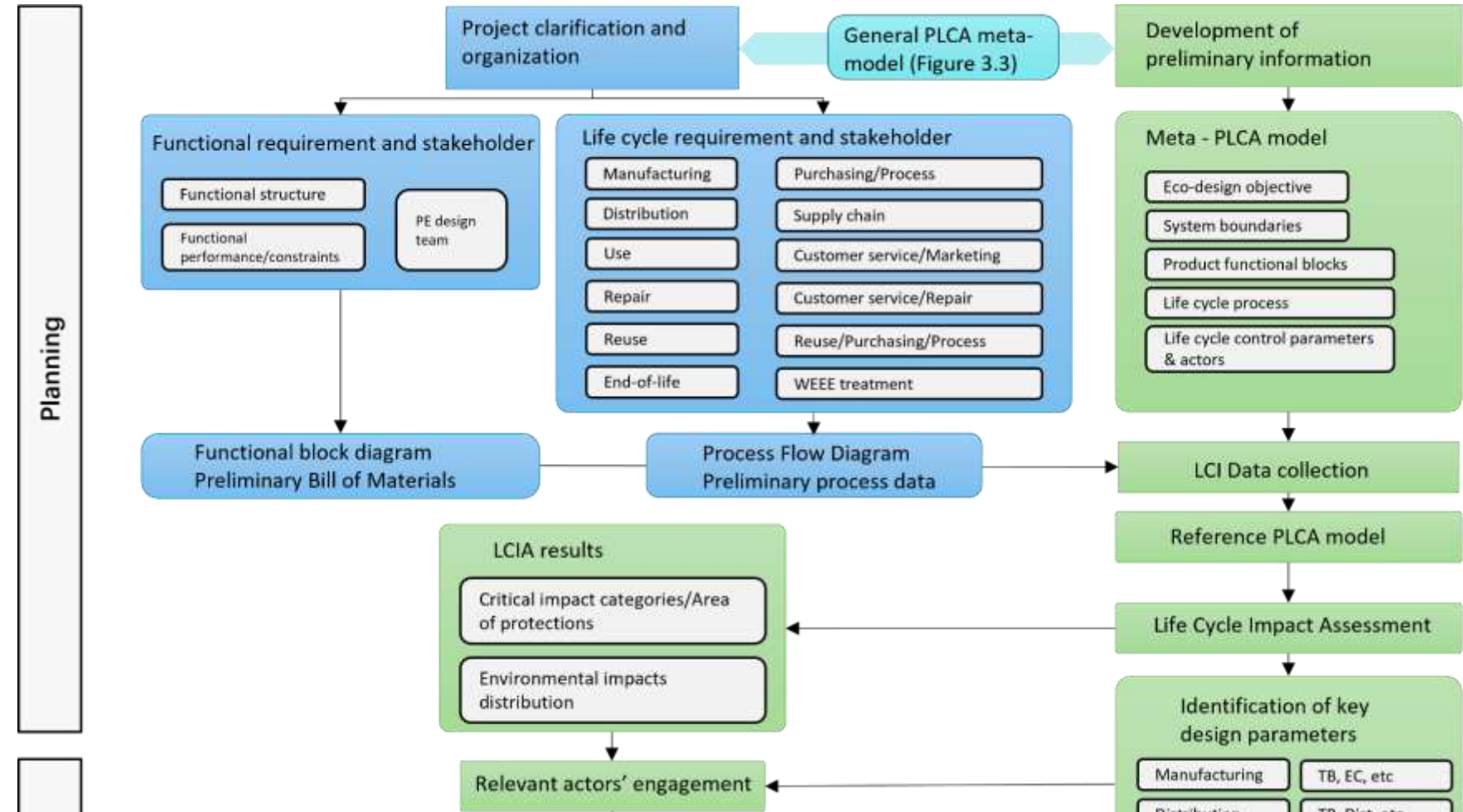
Client
 (Professeur)



Phase 1 : Spécification

Objectives

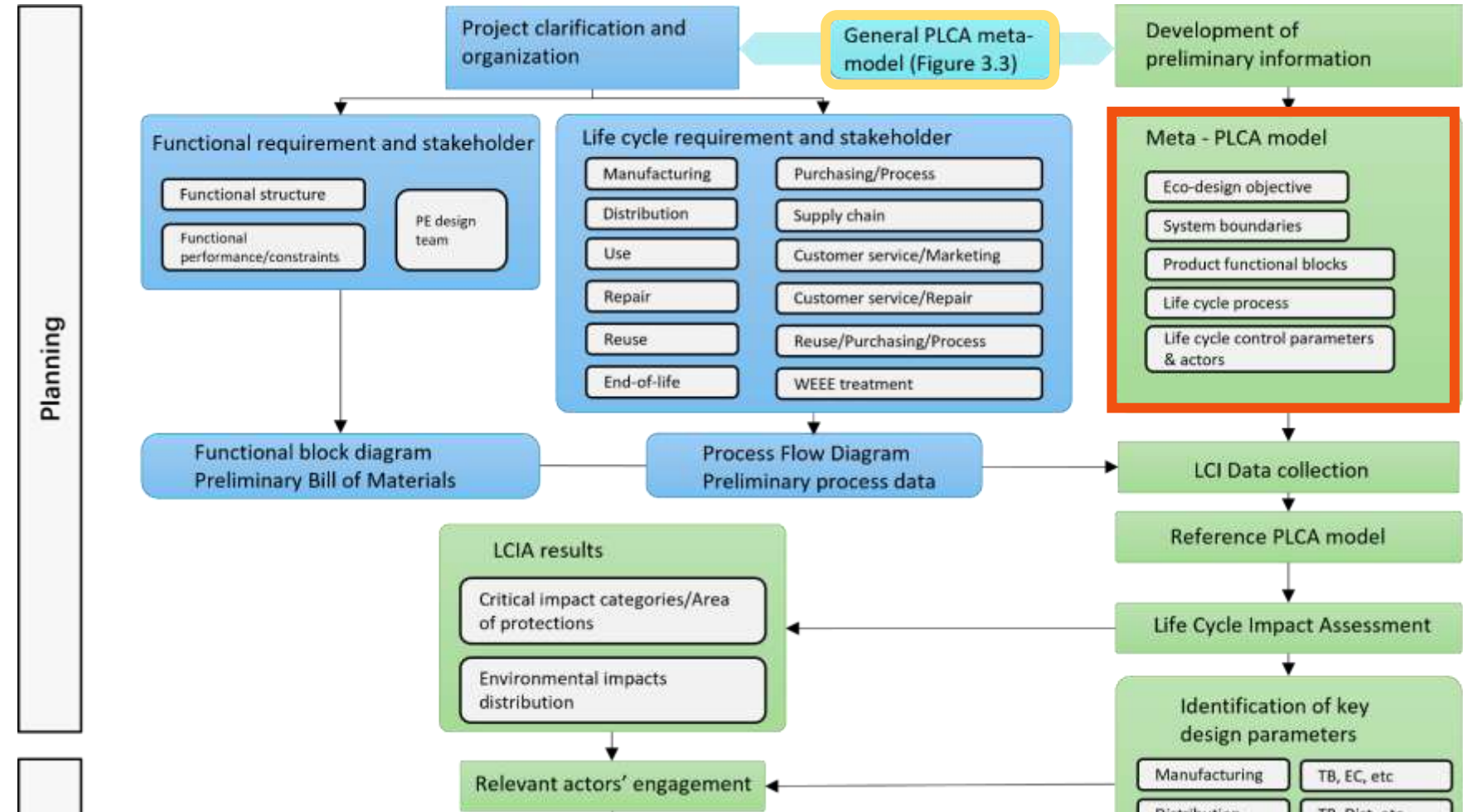
- Définir le Cahier des charges
- Créer le modèle ACV-P spécifique au système
- Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés



Phase 1 : Spécification

Objectives

- Définir le Cahier des charges
- **Créer le modèle ACV-P spécifique au système**
- Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés



Phase 1 : Spécification

Eco-design objective

Unité fonctionnelle

Fonction de service: Expliquer les fonctions du convertisseur Buck aux étudiants en ingénierie
Performance quantifiée : générer d'une tension continue (DC) comprise entre 9V et 15V pour alimenter une charge variable, en utilisant une source DC de 15V à 30V,
Durée d'usage annuelle : 120 heures
Durée de service : 30 ans
Heures de fonctionnement : 3600 heures de fonctionnement.

Scénario de référence

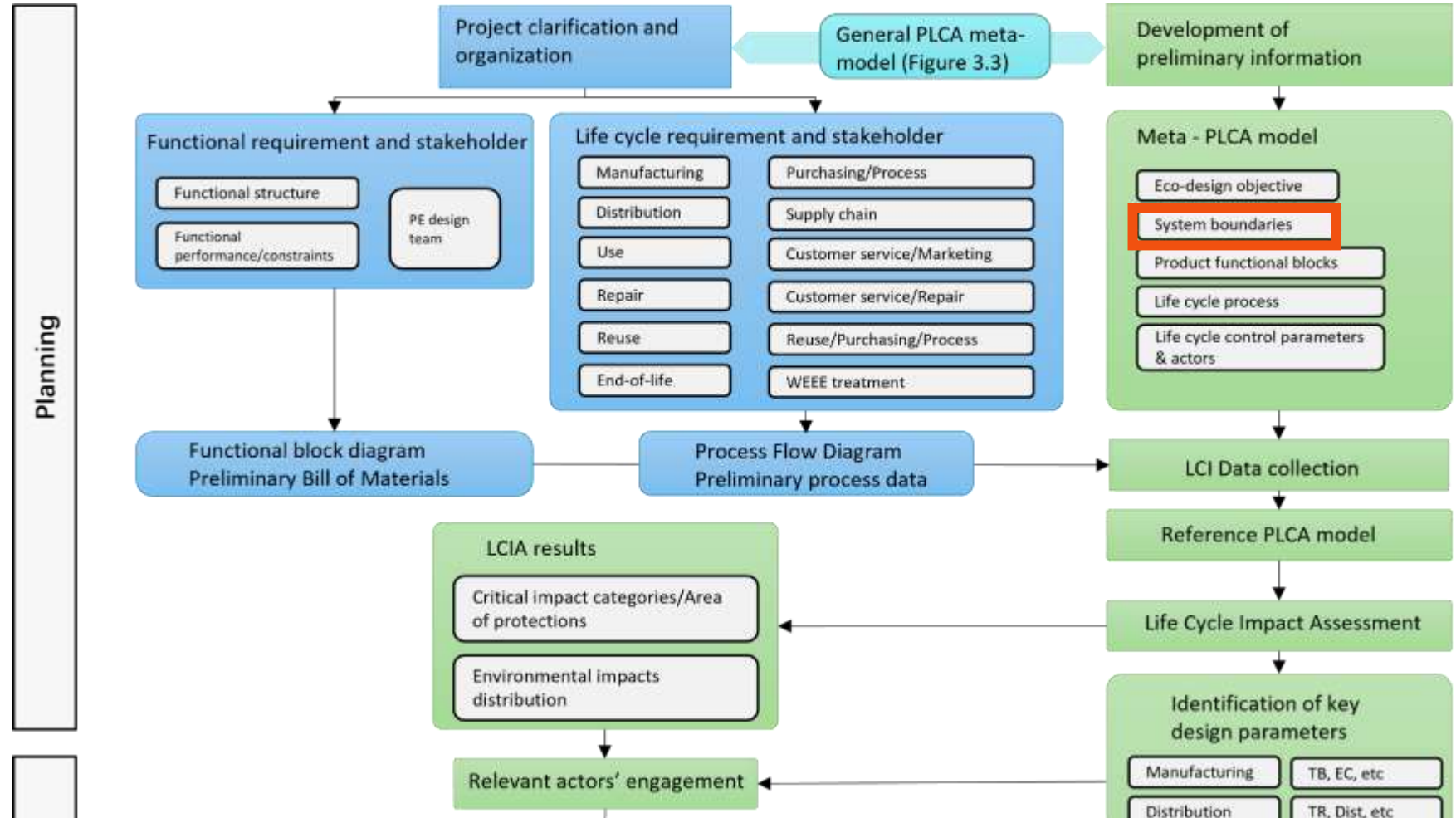
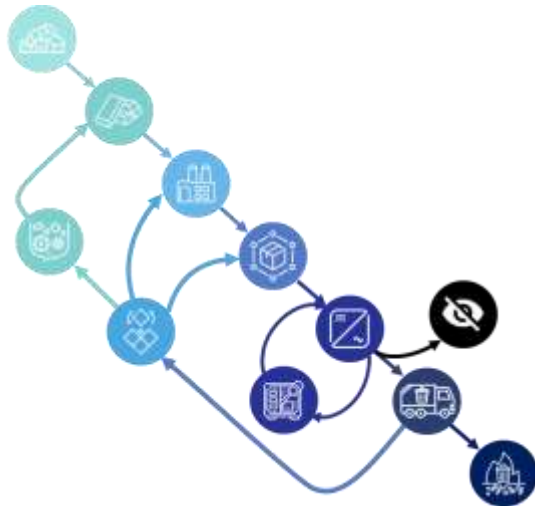
Nombre de convertisseurs : 3
Durée de vie estimée du convertisseur : 10 ans



Phase 1 : Spécification

Objectives

- Définir le Cahier des charges
- **Créer le modèle ACV-P spécifique au système**
- Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés



Phase 1 : Spécification

Meta - PLCA model

PLCA model

Life cycle stages: Manufact...

Suggéré initialement par le **méta-modèle général** :
à **adapter** au **contexte** spécifique du projet



Life cycle stages	Type of control	Parameters	Stakeholders
Manufacturing	Background	Unit impact of components manufacturing (I_EC,i)	Components manufacturer
Manufacturing	Background	Unit impact of product assembly (I_PA)	Product manufacturer
Manufacturing	Foreground	✳ Environmental impacts of technical blocks Manufacturing (ElmanTBi)	PE product engineer Product manufacturer Components manufacturer
Manufacturing	Foreground	Mass of product (Mp)	PE product engineer
Manufacturing	Foreground	Number of products(NP)	PE product engineer Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Service provision years (Yservice)	Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Technical lifetime of product (YP)	PE product engineer Functional specification (...)
Transport	Background	Unit impact of transports (ITR,i)	Logistics department
Transport	Background	Transports distance (DTR ,i)	Logistics department

Phase 1 : Spécification

Meta - PLCA model

Equipe de Conception

Paramètres de
premier-plan

Functional block diagram
Preliminary Bill of Materials

PLCA model



Life cycle stages: Manufact... ▼			
Life cycle stages	Type of control	Aa Parameters	Stakeholders
Manufacturing	Background	Unit impact of components manufacturing (I_EC,i)	Components manufacturer
Manufacturing	Background	Unit impact of product assembly (I_PA)	Product manufacturer
Manufacturing	Foreground	✳ Environmental impacts of technical blocks Manufacturing (ElmanTBi)	PE product engineer Product manufacturer Components manufacturer
Manufacturing	Foreground	Mass of product (Mp)	PE product engineer
Manufacturing	Foreground	Number of products(NP)	PE product engineer Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Service provision years (Yservice)	Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Technical lifetime of product (YP)	PE product engineer Functional specification (...)
Transport	Background	Unit impact of transports (ITR,i)	Logistics department
Transport	Background	Transports distance (DTR ,i)	Logistics department

Phase 1 : Spécification

Meta - PLCA model

Acteurs de la chaîne
de valeur

Paramètres
d'arrière-plan

Process Flow Diagram
Preliminary process data

PLCA model



Life cycle stages: Manufact...	Type of control	Aa Parameters	Stakeholders
Manufacturing	Background	Unit impact of components manufacturing (I_EC,i)	Components manufacturer
Manufacturing	Background	Unit impact of product assembly (I_PA)	Product manufacturer
Manufacturing	Foreground	Environmental impacts of technical blocks Manufacturing (ElmanTBi)	PE product engineer Product manufacturer Components manufacturer
Manufacturing	Foreground	Mass of product (Mp)	PE product engineer
Manufacturing	Foreground	Number of products(NP)	PE product engineer Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Service provision years (Yservice)	Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Technical lifetime of product (YP)	PE product engineer Functional specification (...)
Transport	Background	Unit impact of transports (ITR,i)	Logistics department
Transport	Background	Transports distance (DTR ,i)	Logistics department

Phase 1 : Spécification

Reference PLCA model

PLCA model

Life cycle stages	Type of control	Parameters	Stakeholders
Manufacturing	Background	Unit impact of components manufacturing (I_EC,i)	Components manufacturer
Manufacturing	Background	Unit impact of product assembly (I_PA)	Product manufacturer
Manufacturing	Foreground	✳ Environmental impacts of technical blocks Manufacturing (ElmanTBi)	PE product engineer Product manufacturer Components manufacturer
Manufacturing	Foreground	Mass of product (Mp)	PE product engineer
Manufacturing	Foreground	Number of products (NP)	PE product engineer Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Service provision years (Yservice)	Functional specification (...)
Manufacturing	Foreground	Technical lifetime of product (YP)	PE product engineer Functional specification (...)
Transport	Background	Unit impact of transports (ITR,i)	Logistics department
Transport	Background	Transports distance (DTR ,i)	Logistics department



Ingénieur cycle de vie Gestion des données

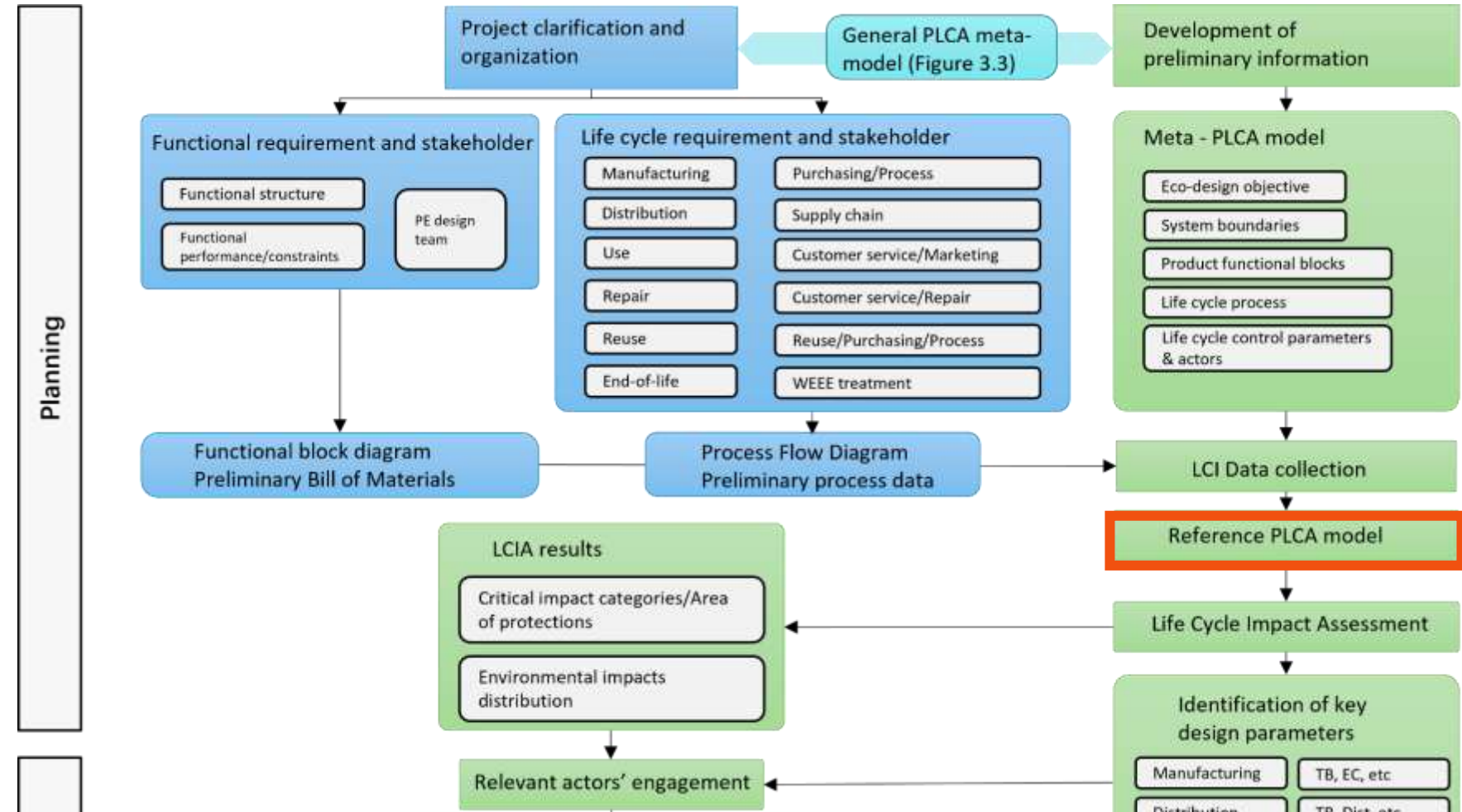


Data of reference scenario	Data sources	Link to data sources
See database ElmanTBi	Environmental database	ecoinvent.org/
See database ElmanTBi	Environmental database	ecoinvent.org/
See database ElmanTBi	Environmental database Bill of materials Functional block diagram	ecoinvent.org/
1351	Bill of materials	BoM
3	Functional specification	CdC
30	Functional specification	CdC
10	Functional specification	CdC
See database Eltransport,i	Environmental database	ecoinvent.org/
See database Eltransport,i	PEP Product Category Rules Logistics documents	P.E.P. Association.Product Category Electrical, Electronic and HVAC-R Pre edition. PEP ecopassport®PROGRA 2021 P.E.P.Association.

Phase 1 : Spécification

Objectives

- Définir le Cahier des charges
- **Créer le modèle ACV-P spécifique au système**
- Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés



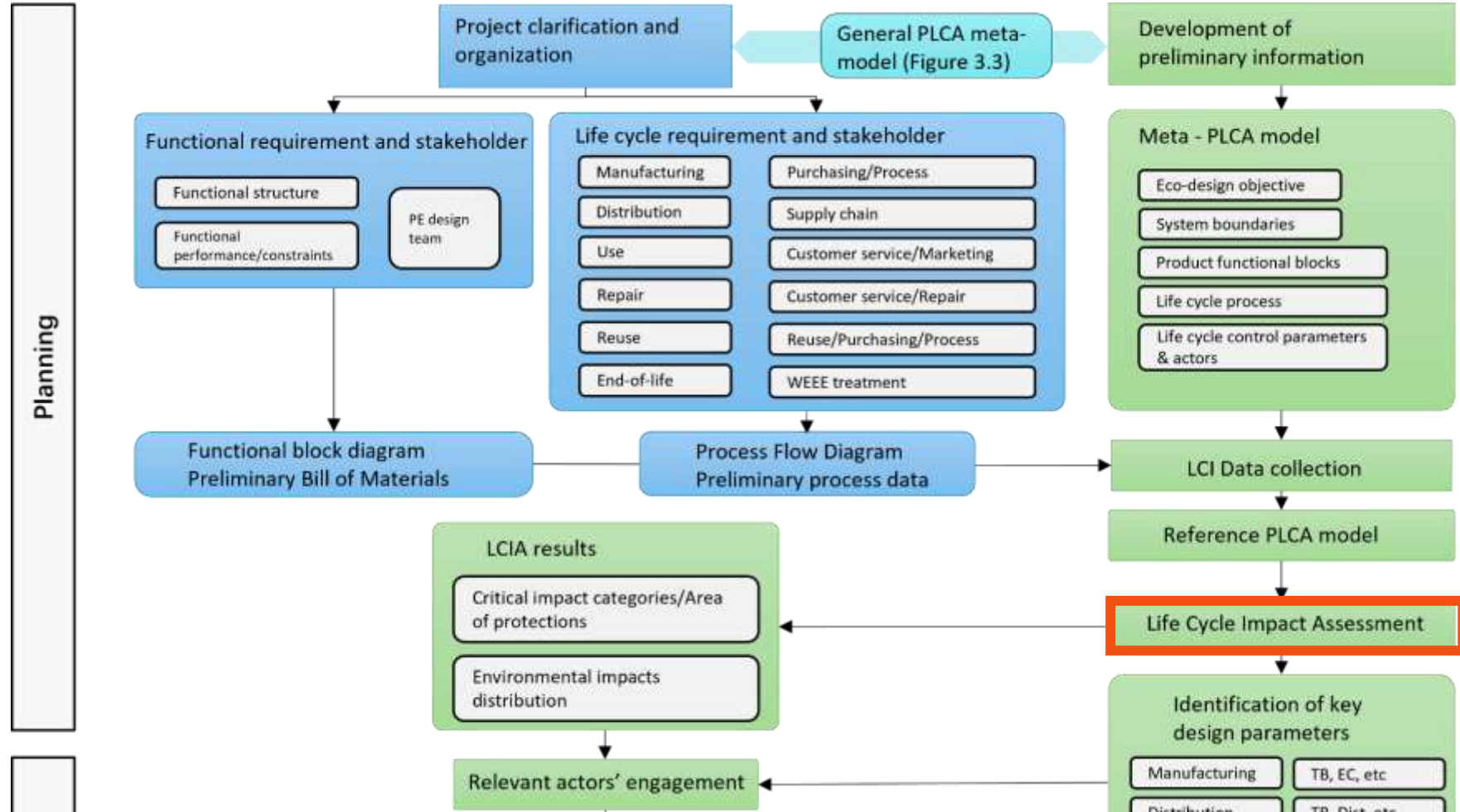
Phase 1 : Spécification

Objectives

- Définir le Cahier des charges
- **Créer le modèle ACV-P spécifique au système**
- Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés



*Script de Calcul –
Modélisation ACV-P
(Fang et al., 2024)*



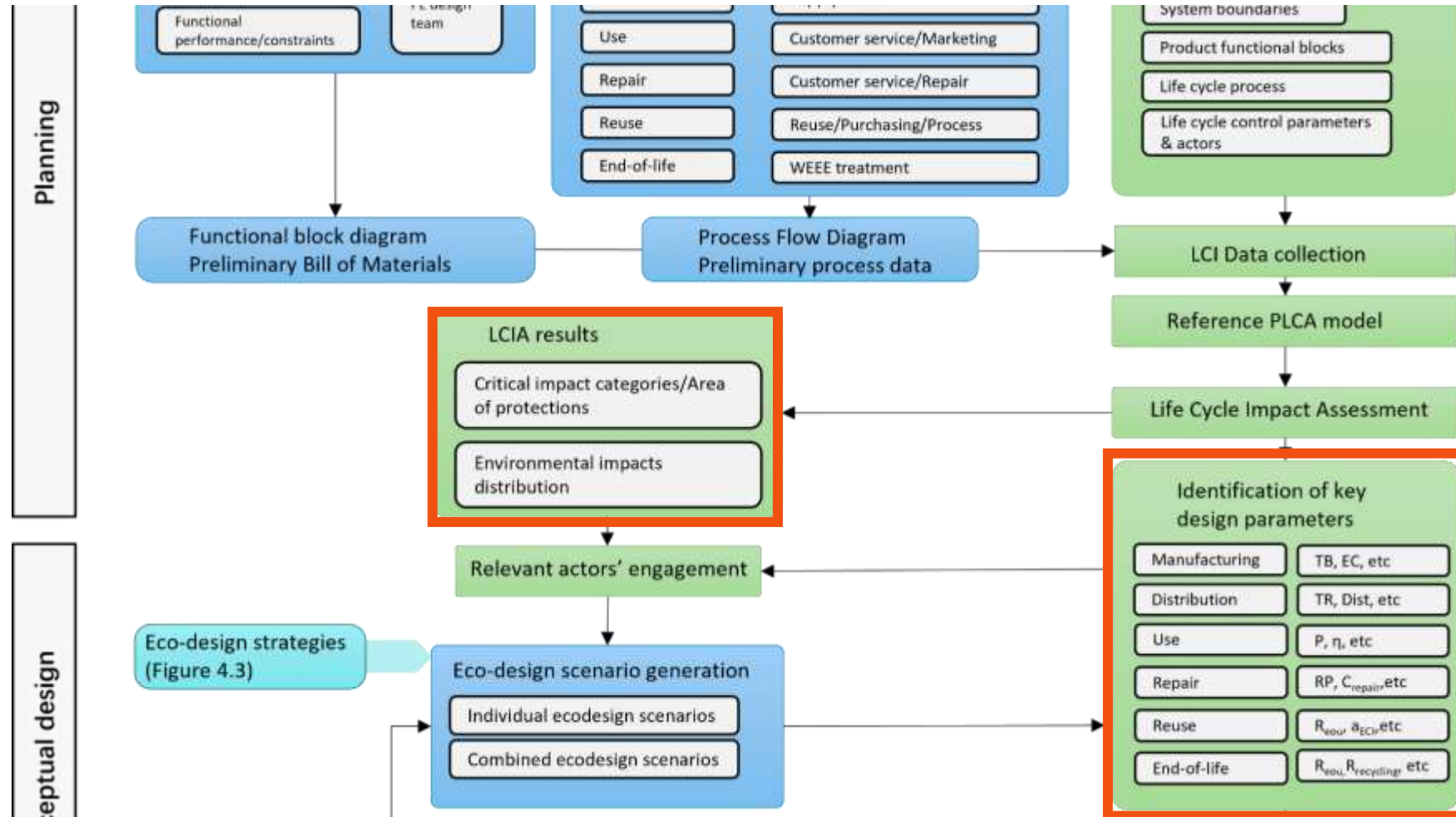
Phase 1 : Spécification

Objectives

- Définir le Cahier des charges
- Créer le modèle ACV-P spécifique au système
- **Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés**



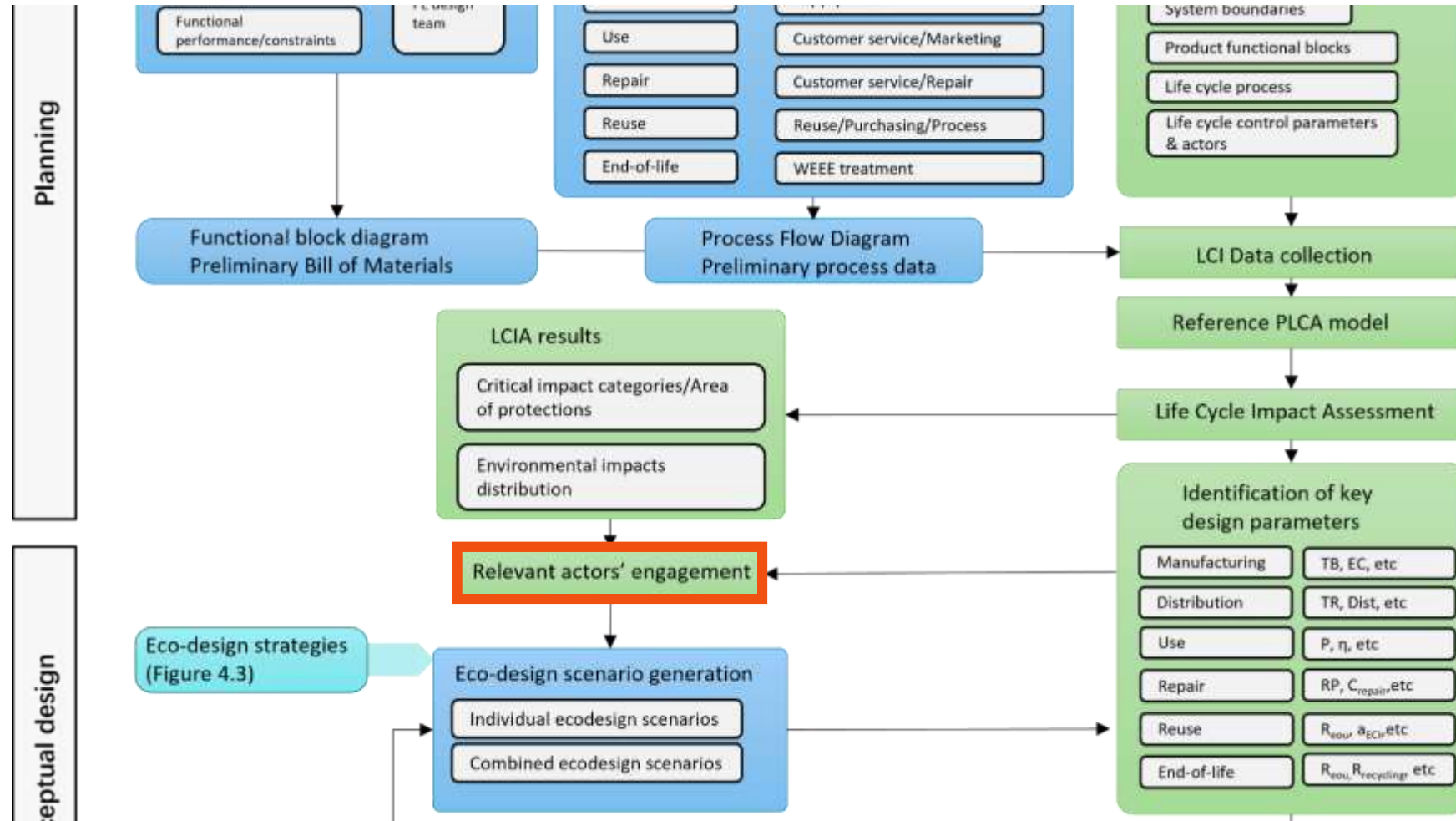
*“Template” d’analyse
(Fang et al., 2024)*



Phase 1 : Spécification

Objectives

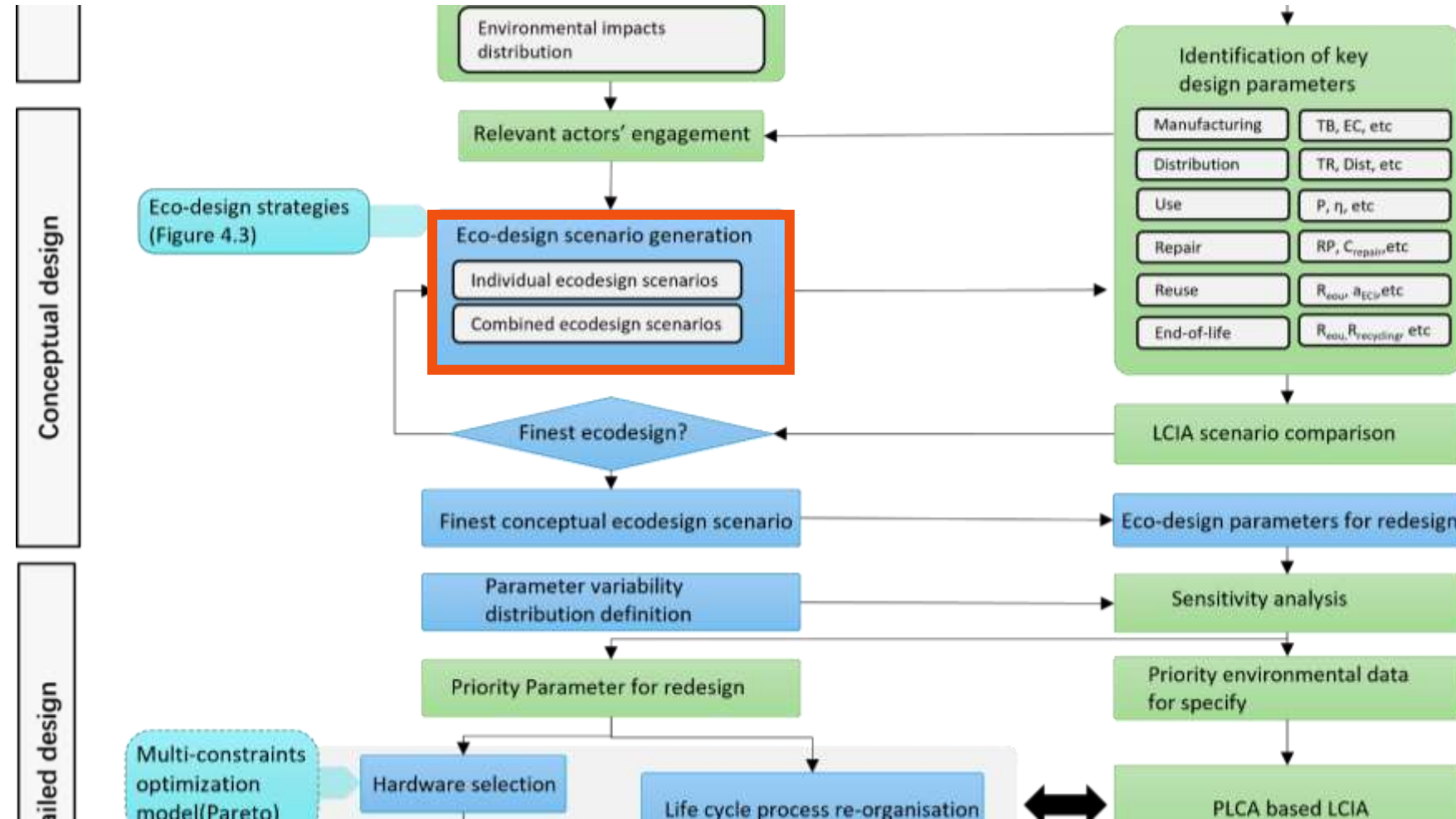
- Définir le Cahier des charges
- Créer le modèle ACV-P spécifique au système
- **Identifier les paramètres d'influence à contrôler et les acteurs concernés**



Phase 2 : Conception Conceptuelle

Objectives

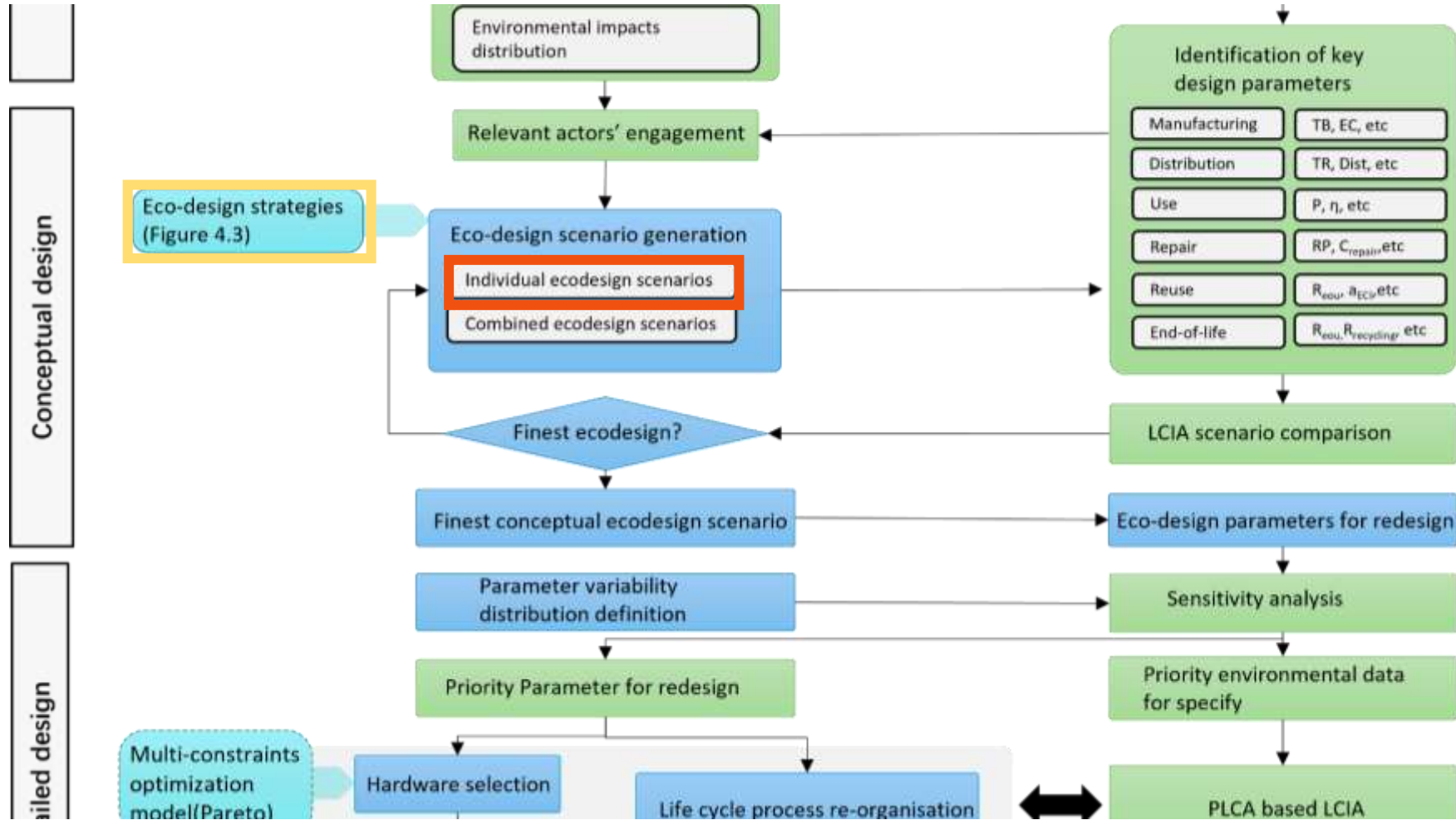
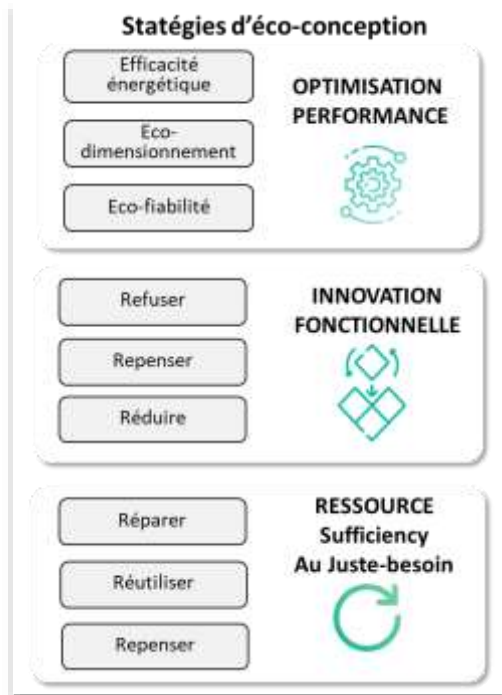
- Générer des scénarios d'écoconception
- Sélectionner le scénario optimal pour l'implémentation



Phase 2 : Conception Conceptuelle

Objectives

- Générer des scénarios d'écoconception
- Sélectionner le scénario optimal pour l'implémentation



Stratégies d'écoconception recommandées pour ces paramètres

Phase 2 : Conception Conceptuelle

Objectives

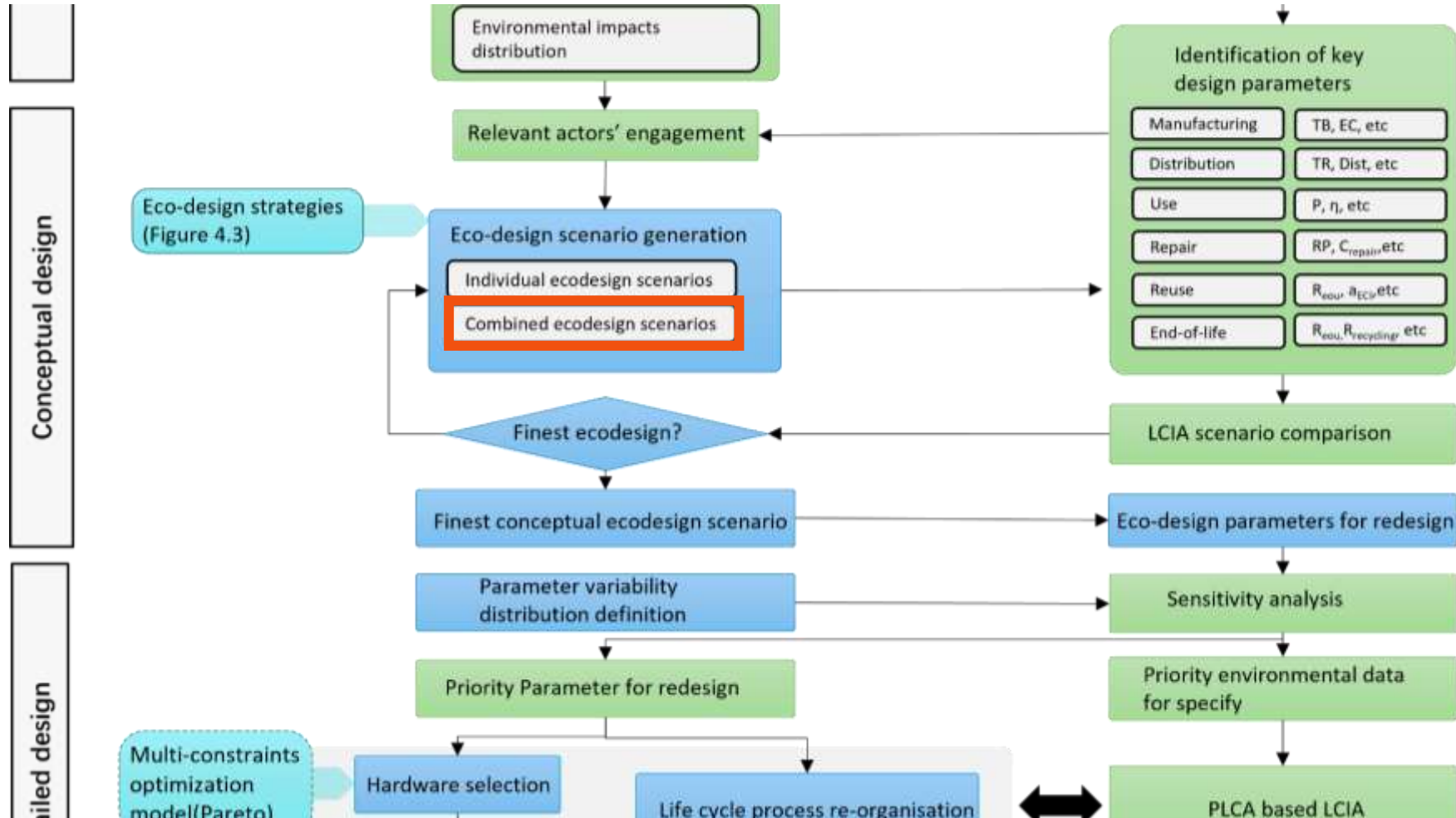
- Générer des scénarios d'écoconception
- Sélectionner le scénario optimal pour l'implémentation**

Compatibility matrix 

1 Check compatibility between every scenario

Compatibility	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Scenario 1	/	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible
Scenario 2	/	/	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible
Scenario 3	/	/	/	Compatible OR Incompatible	Compatible OR Incompatible
Scenario 4	/	/	/	/	Compatible OR Incompatible
Scenario 5	/	/	/	/	/

Matrice de Compatibilité





Refuser

Résistances de charges

Externaliser



Repenser

Contrôle dynamique de charges

Intégration



Réduire

Plaque AI Séparation

Microcontrôleur
Support

Technologie alternative

PMMA
Technologie alternative

Réparer

T GaN

tion



Réutiliser

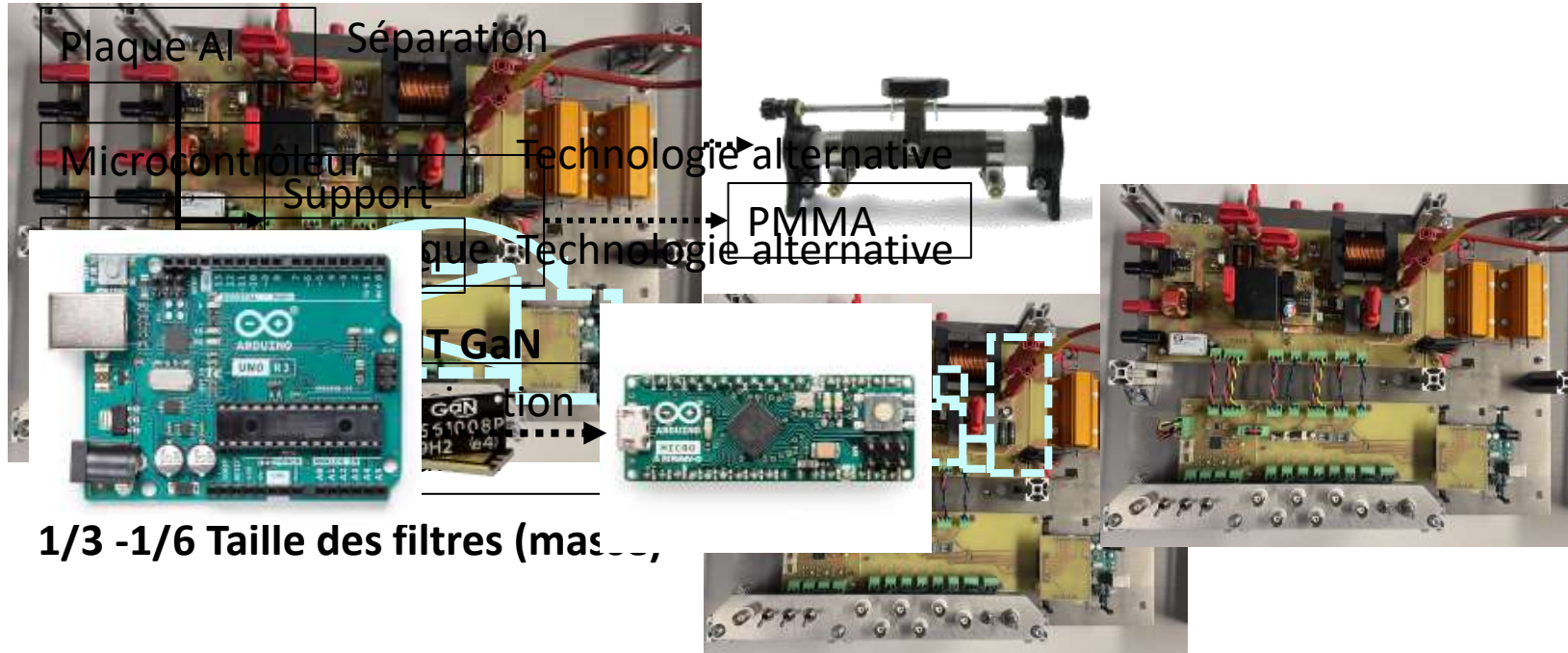
1/3 -1/6 Taille des filtres (masse, ...)



Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios





Refuser

Résistances de charges

Externaliser



Repenser

Contrôle dynamique de charges

Intégration



Réduire

Microcontrôleur

Technologie alternative

Filtres entrée/sortie

Technologie alternative



Réparer

Nombre de produit

2 interventions de réparation

Compatibilité de la conception à la réparation

Appliquer guidelines « Design for repair »



Réutiliser



X 3



X 1



Notion

Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios

**Indice de réparabilité****EN45554:2020**

Méthodes générales pour l'évaluation de la capacité à réparer, réutiliser et upgrader les produits liés à l'énergie



Refuser

Résistances de charges

Externaliser



Repenser

Contrôle dynamique de charges

Intégration



Réduire

Microcontrôleur

Technologie alternative

Filtres entrée/sortie

Technologie alternative



Réparer

Nombre de produit

2 interventions de réparation

Compatibilité de la conception à la réparation

Appliquer guidelines « Design for repair »



Réutiliser

Sous-parties/Composants réutilisables

Filtres, Microprocesseur, Système LED, Connecteurs

Usure fonctionnelle après le premier cycle de service

Estimation : 20%



Notion

Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios



Refuser

Résistances de charges

Externaliser



Repenser

Contrôle dynamique de charges

Intégration

Plaque AI

Séparation



Réduire

Microcontrôleur

Technologie alternative

Filtres entrée/sortie

Technologie alternative



Réparer

Nombre de produit

2 interventions de réparation

Compatibilité de la conception à la réparation

Appliquer guidelines « Design for repair »



Réutiliser

Sous-parties/Composants réutilisables

Filtres, Microprocesseur, Système LED, Connecteurs

Usure fonctionnelle après le premier cycle de service

Estimation : 20%



Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios



Refuser

Résistances de charges

Externaliser



Repenser

Contrôle dynamique de charges

Intégration



Réduire

Plaque AI

Séparation

Microcontrôleur

Technologie alternative

Filtres entrée/sortie

Technologie alternative



Réparer

Incompatible

2 intervention de réparation

Compatibilité de la conception à la réparation

Appliquer Design for repair guidelines



Réutiliser

Sous-parties/Composants réutilisables

Filtres, Microprocesseur, Système LED, Connecteurs

Usure fonctionnel après le premier cycle de service

Estimation : 20%



Notion

Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios

Incompatible



Eco-design scenario generation

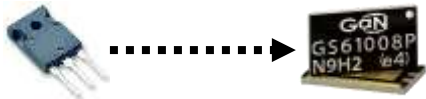
Individual ecodesign scenarios

Combined ecodesign scenarios

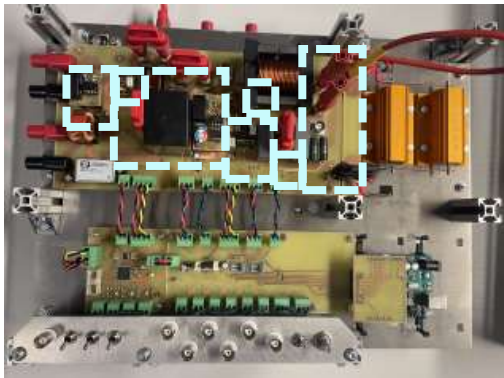
Filtres entrée/sortie

Compatibilité de la conception à la réparation

MOSFET Si HEMT GaN



1/3 -1/6 Taille des filtres (mass)



Indice de réparabilité : EN45554:2020

79% → 73%

Profondeur de désassemblage

 Type de connecteur
Packaging DFN
(Dual Flat No-lead)

Niveau de compétence nécessaire

Meilleure performance thermique

Faible inductance



Outils nécessaires



Environnement de travail



Support diagnostic



Disponibilité des informations

Eco-design scenario generation

Individual ecodesign scenarios

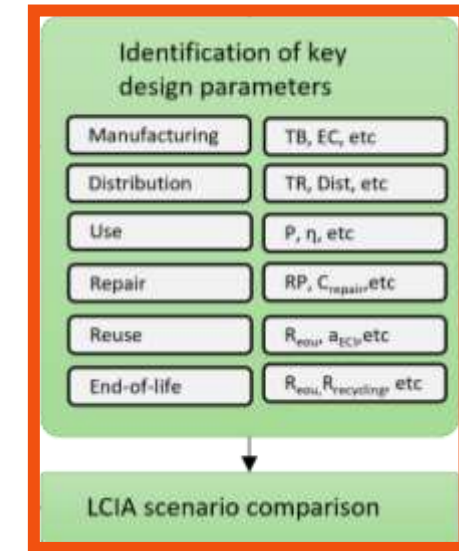
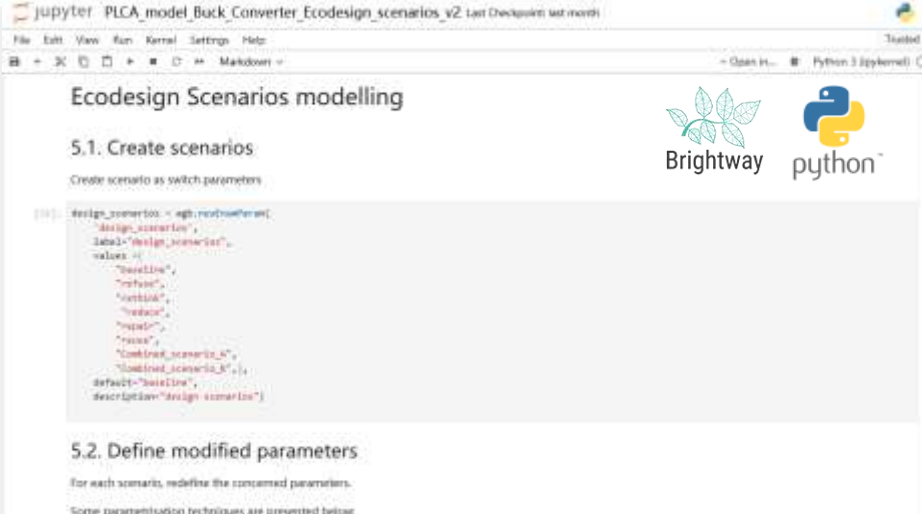
Combined ecodesign scenarios

Comparaison des scénarios cumulés et sélection

 Notion	A	B
Réparabilité	73%	79%
Scénarios Combinés	Tout avec Filtres entrée/sortie	Tout sans Filtres entrée/sortie
Système de commutation	GaN	Si

Comparaison des scénarios cumulés et sélection

	A	B
Réparabilité	73%	79%
Scénarios Combinés	Tout avec Filtres entrée/sortie	Tout sans Filtres entrée/sortie
Système de commutation	GaN [1]	Si

jupyter PLCA_model_Buck_Converter_Ecodesign_scenarios_v2 Last Checkpoint: 1st month

File Edit View Run Kernel Settings Help

Python 3 (ipykernel)

Ecodesign Scenarios modelling

5.1. Create scenarios

Create scenario as switch parameters

```
[1]: design_scenarios = egh.reuse(parameters)
    design_scenarios["label"] = "design_scenarios"
    values = {
        "baseline",
        "reuse",
        "repair",
        "recycle",
        "reuse",
        "combined_scenarios_k",
        "combined_scenarios_k",
        "default": "baseline",
        "description": "design_scenarios"
    }
```

5.2. Define modified parameters

For each scenario, redefine the concerned parameters.

Some parametrization techniques are presented below:

Script de Calcul – Modélisation des scénarios d'éco-conception
(Fang et al., 2024)

[1] Vauche L, Guillemaud G, Lopes Barbosa J C, et al. Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment (LCA) of GaN Power Semiconductor Device[J]. Sustainability, 2024, 16(2): 901.

Comparaison des scénarios cumulés et sélection

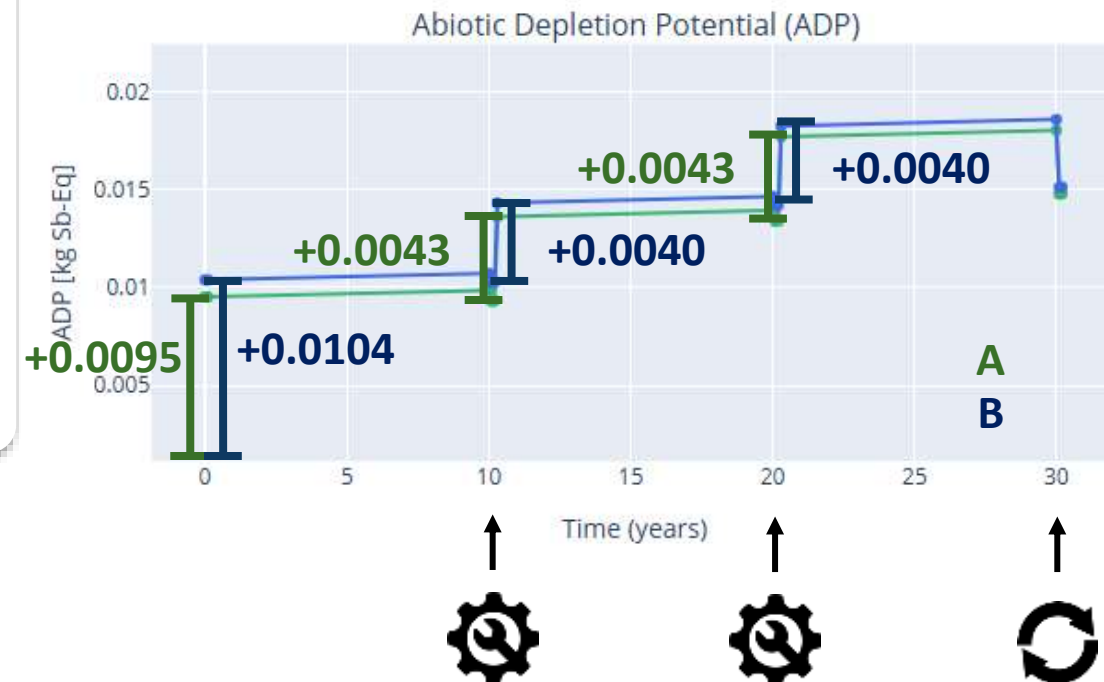
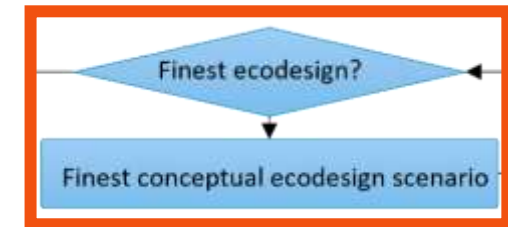
Notion	A	B
Réparabilité	73%	79%
Scénarios Combinés	Tout avec Filtres entrée/sortie	Tout sans Filtres entrée/sortie
Système de commutation	GaN	Si



Changement climatique (kg CO₂-Éq)

Ressources matérielles : métaux/minéraux (kg Sb-Éq)

Écotoxicité : eau douce (CTUe)



Comparaison des scénarios cumulés et sélection

Notion	A	B
Réparabilité	73%	79%
Scénarios Combinés	Tout avec Filtres entrée/sortie	Tout sans Filtres entrée/sortie
Système de commutation	GaN	Si



Choix contextuel

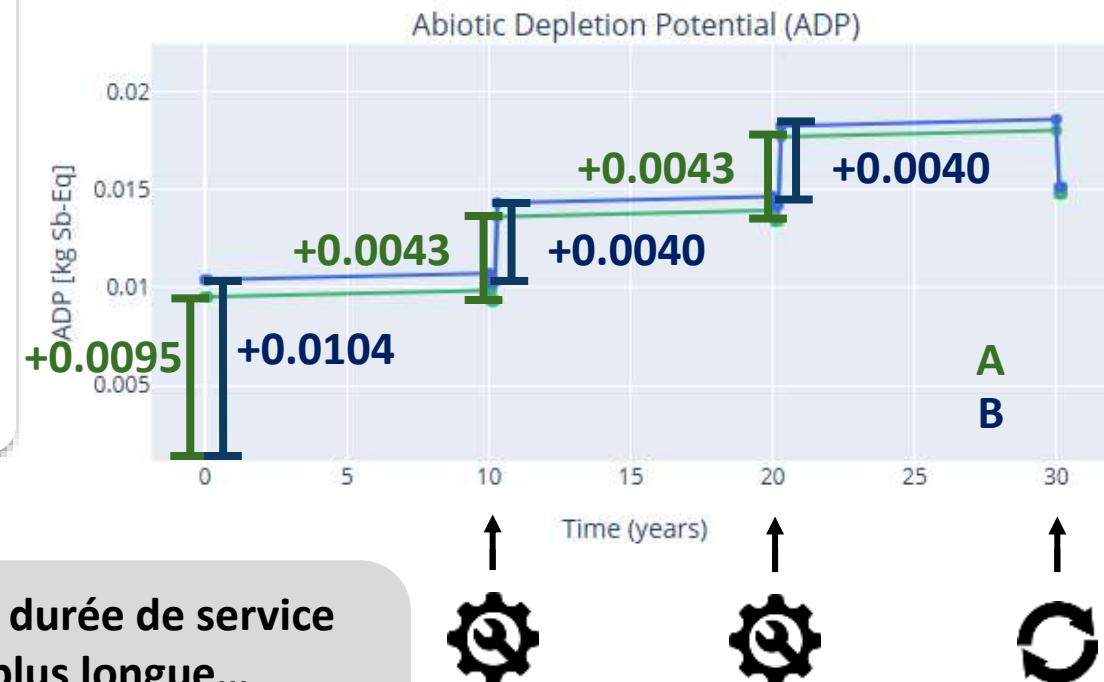
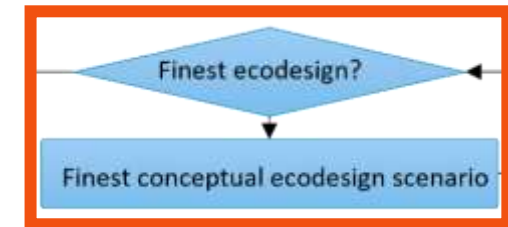
Changement climatique (kg CO₂-Éq)
Ressources matérielles : métaux/minéraux (kg Sb-Éq)
Écotoxicité : eau douce (CTUe)



Si la durée de service est plus longue...

B

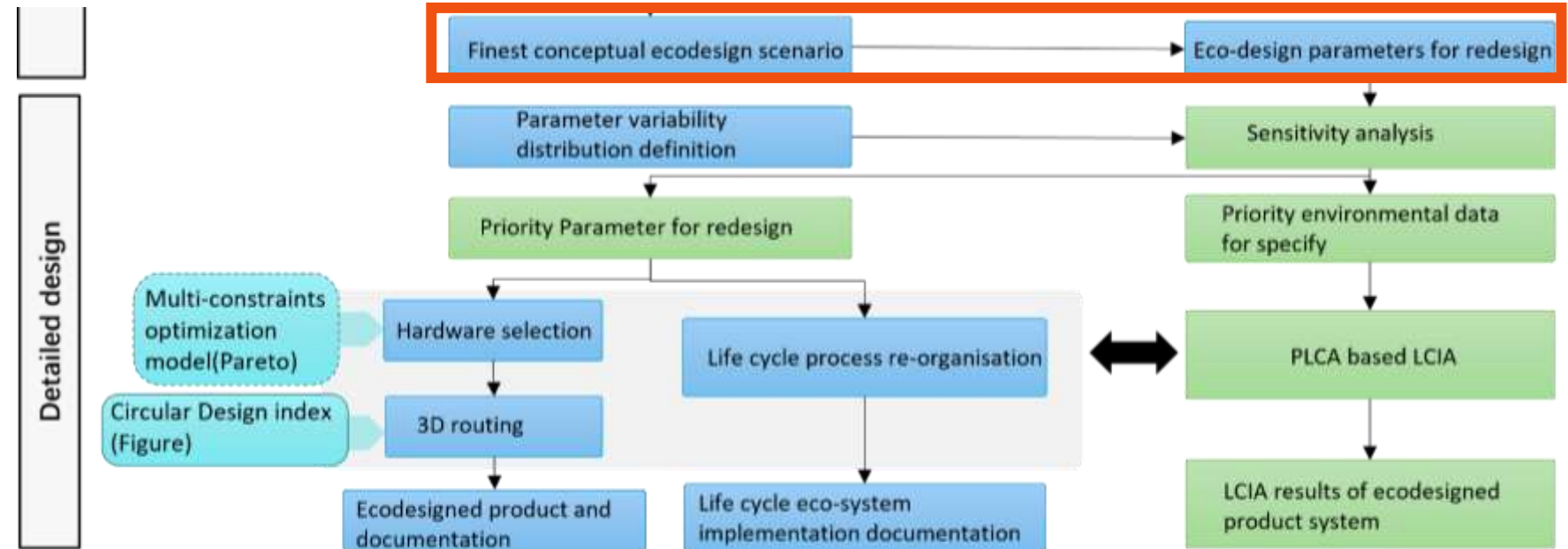
Réparabilité



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectives

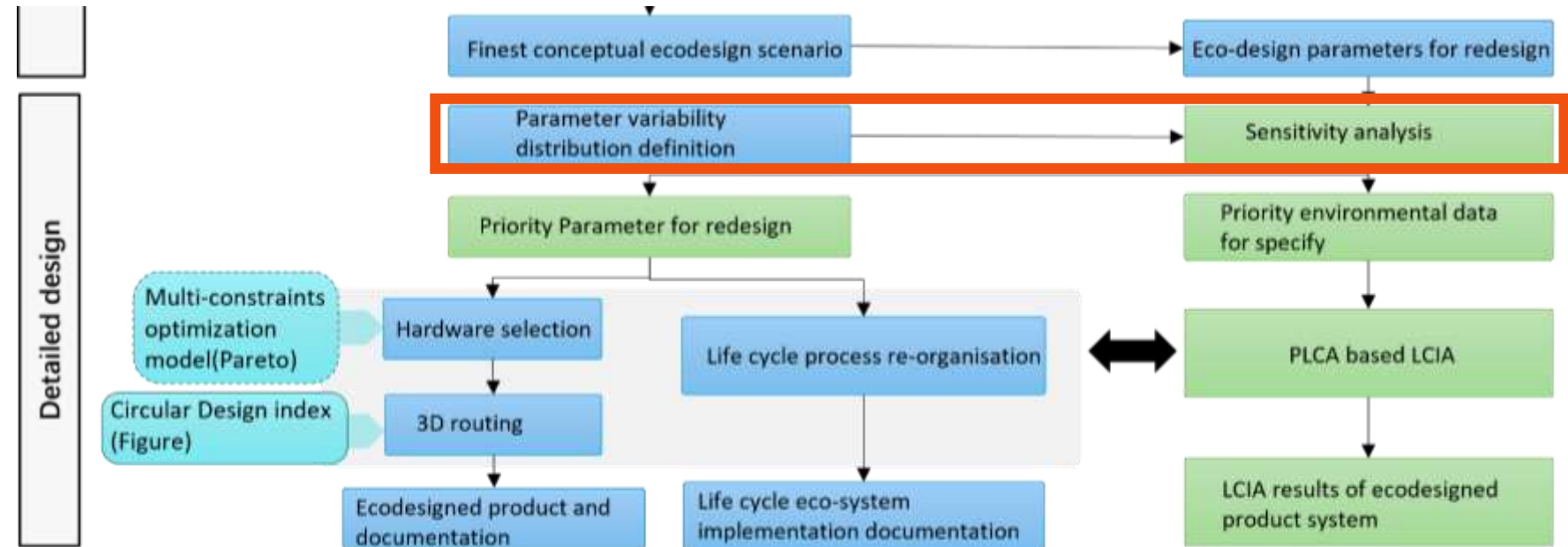
- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



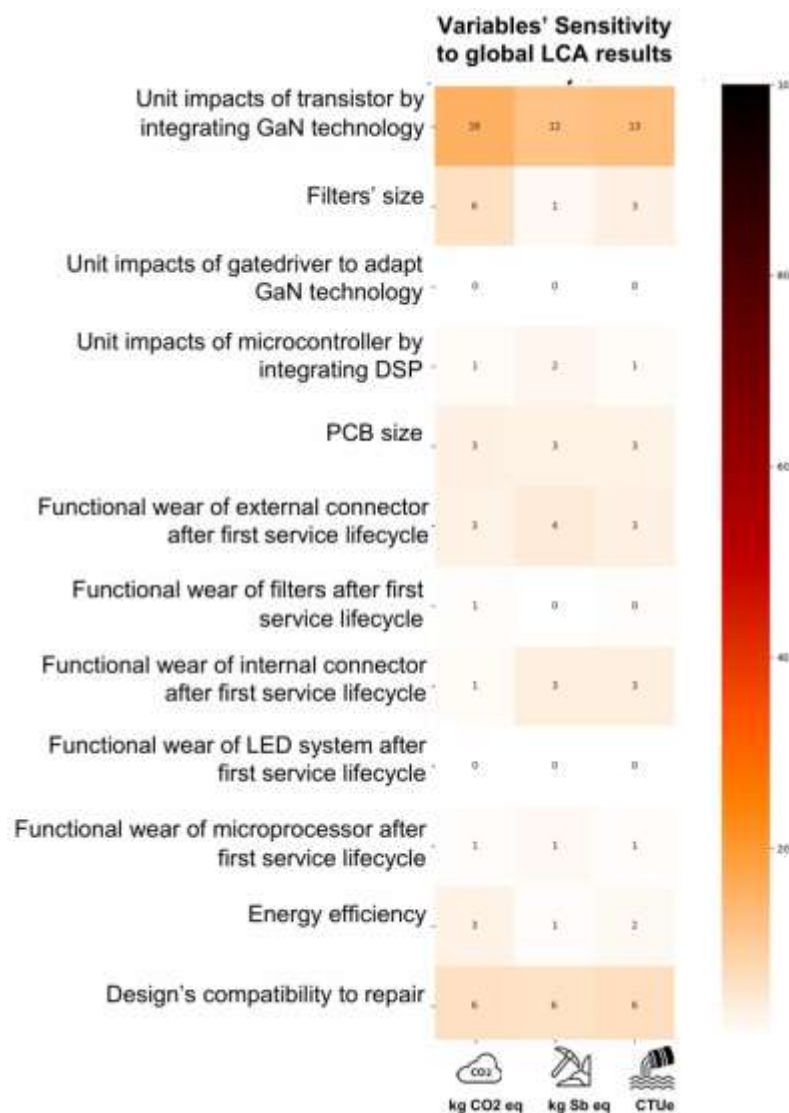
Phase 3 : Conception Détaillée

Objectives

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



Phase 3 : Conception Détaillée



Sensitivity analysis

Analyse de sensibilité – One at A Time (OAT)

Non prioritaire / à préciser

Prioritaire / à préciser

Technologie Microcontroller



Technologie HEMT GaN



Usure fonctionnel



Sensibilité aux résultats

Non prioritaire / à optimiser

Prioritaire / à optimiser

Technologie Gate-driver



Taille PCB



Efficacité énergétique



Taille de filtres



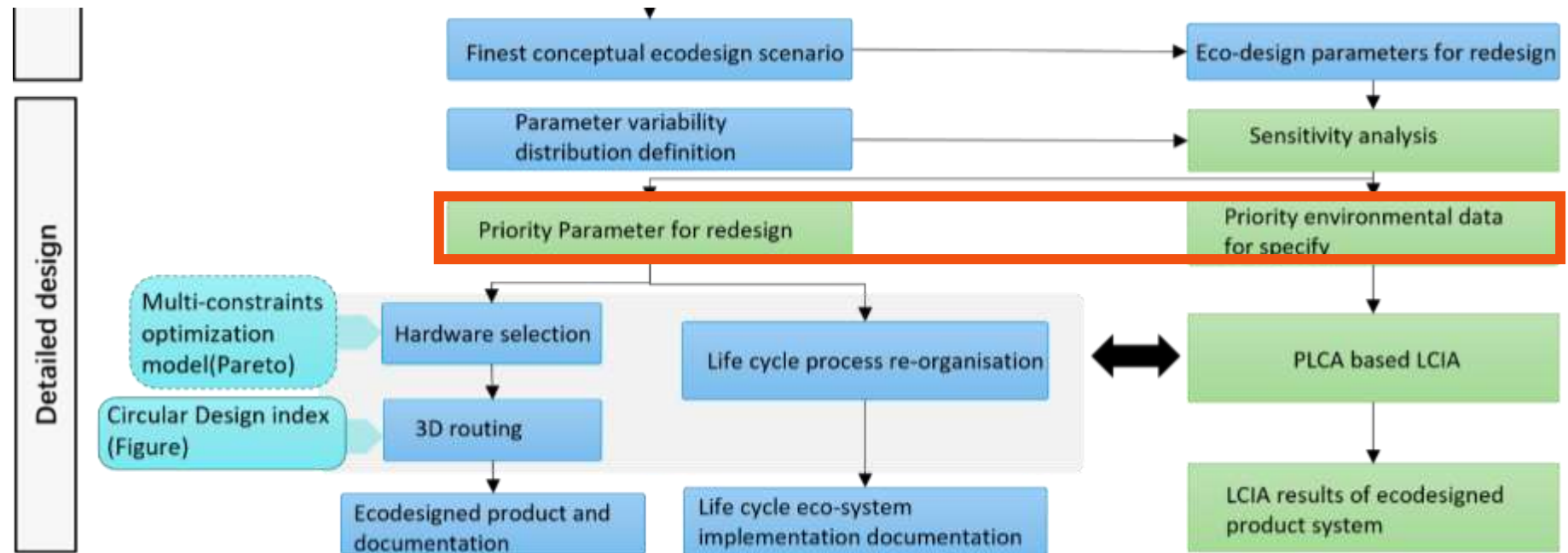
Réparabilité



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

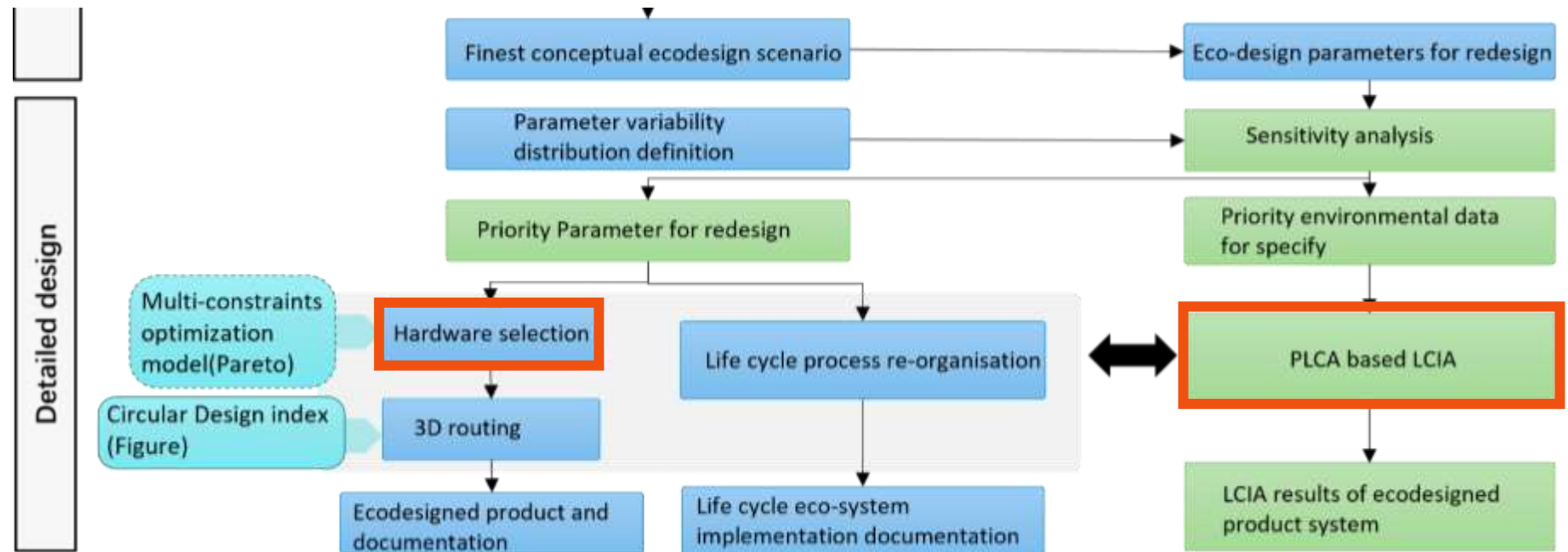
- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

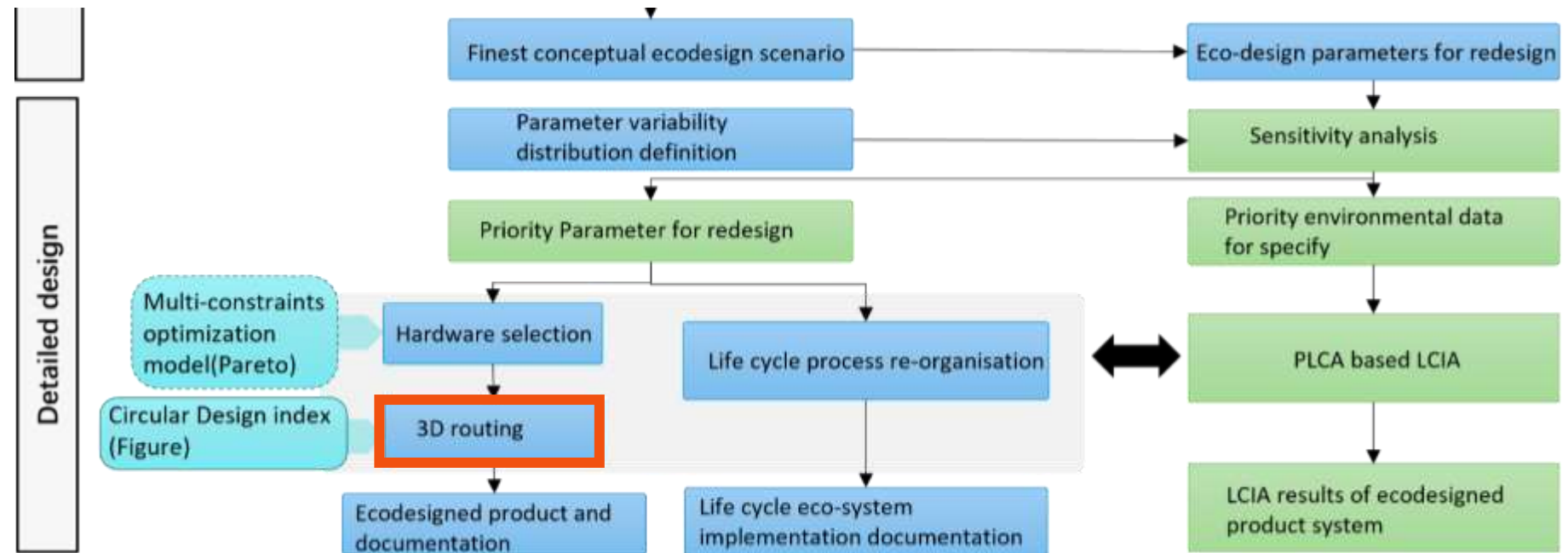
- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet

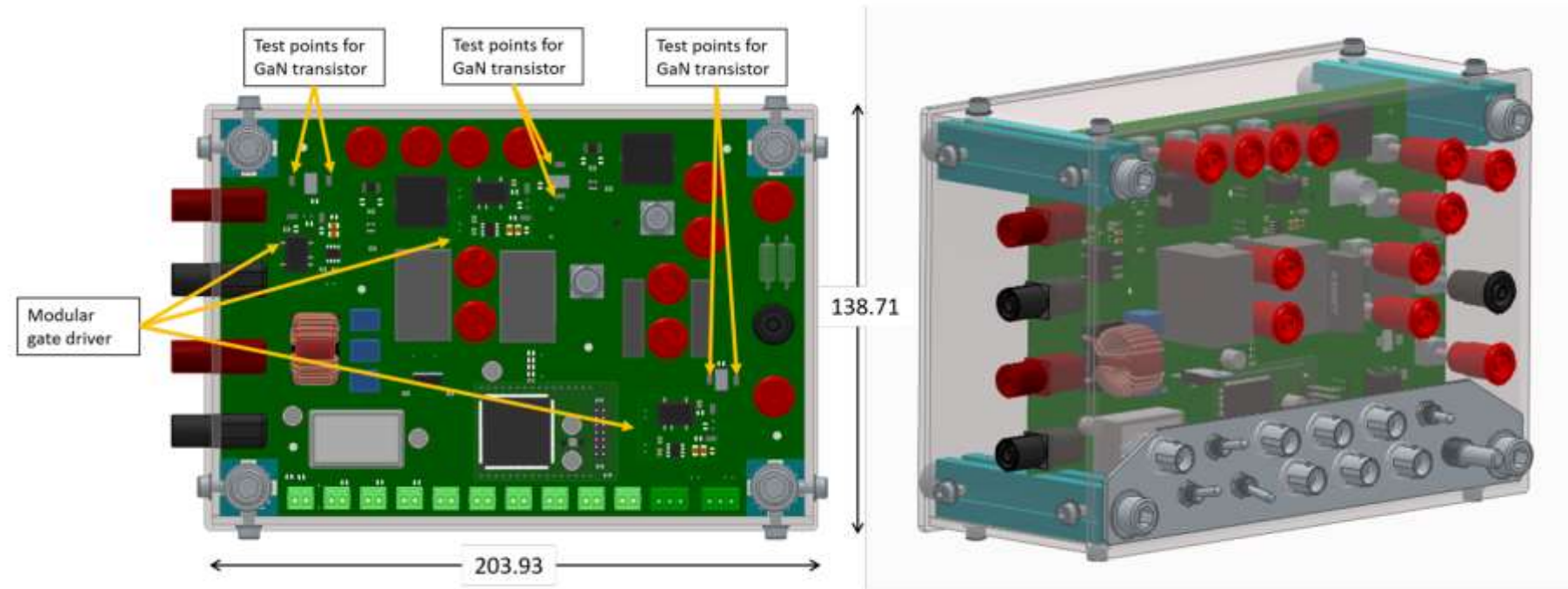


Indice de réparabilité

Conception modulaire

Points de test
Valeur de référence

Documentations :
diagnostics, désassemblage,
remplacement



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet

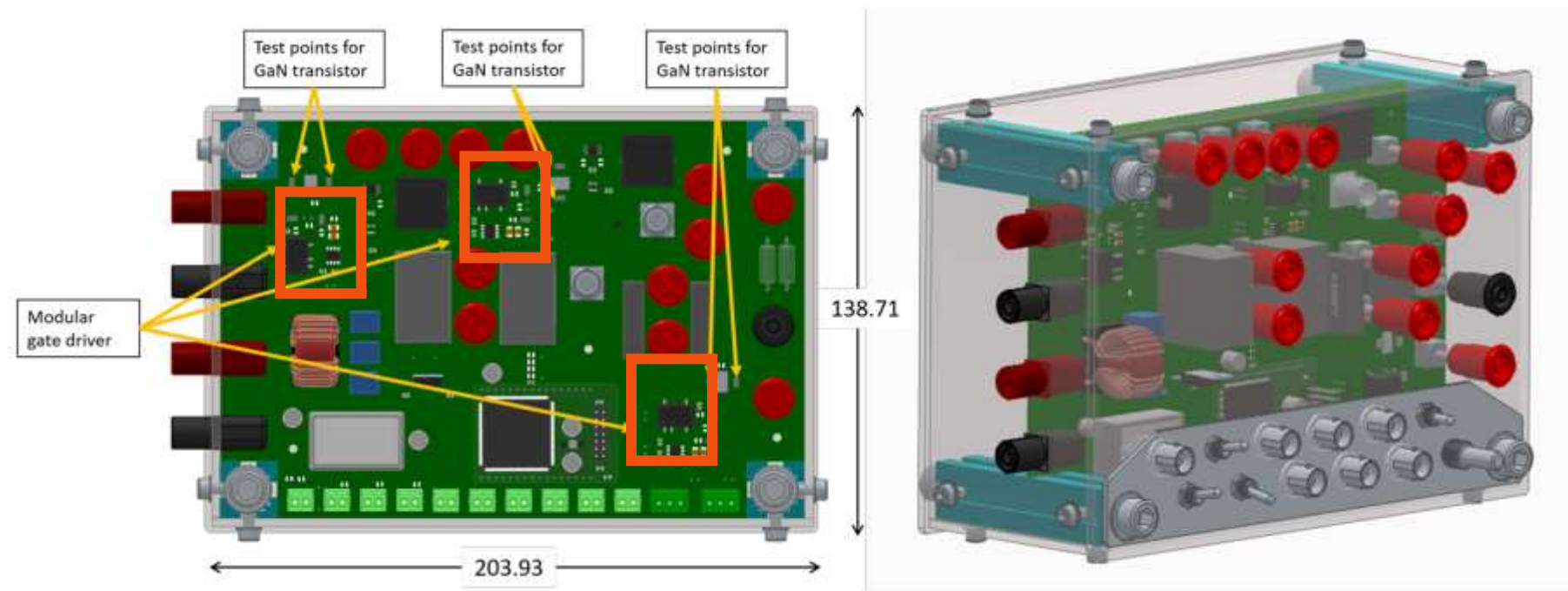


Indice de réparabilité

Conception modulaire

Points de test
Valeur de référence

Documentations :
diagnostics, désassemblage,
remplacement



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet

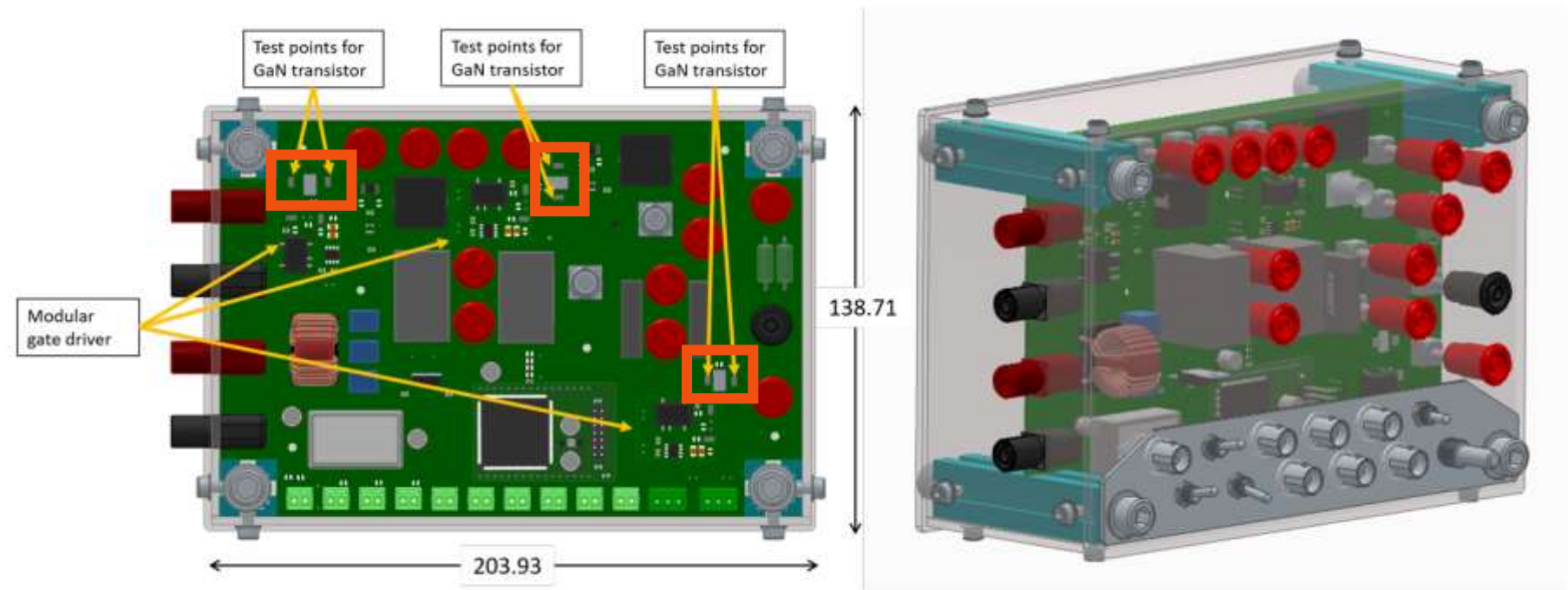


Indice de réparabilité

Conception modulaire

Points de test
Valeur de référence

Documentations :
diagnostics, désassemblage,
remplacement



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet

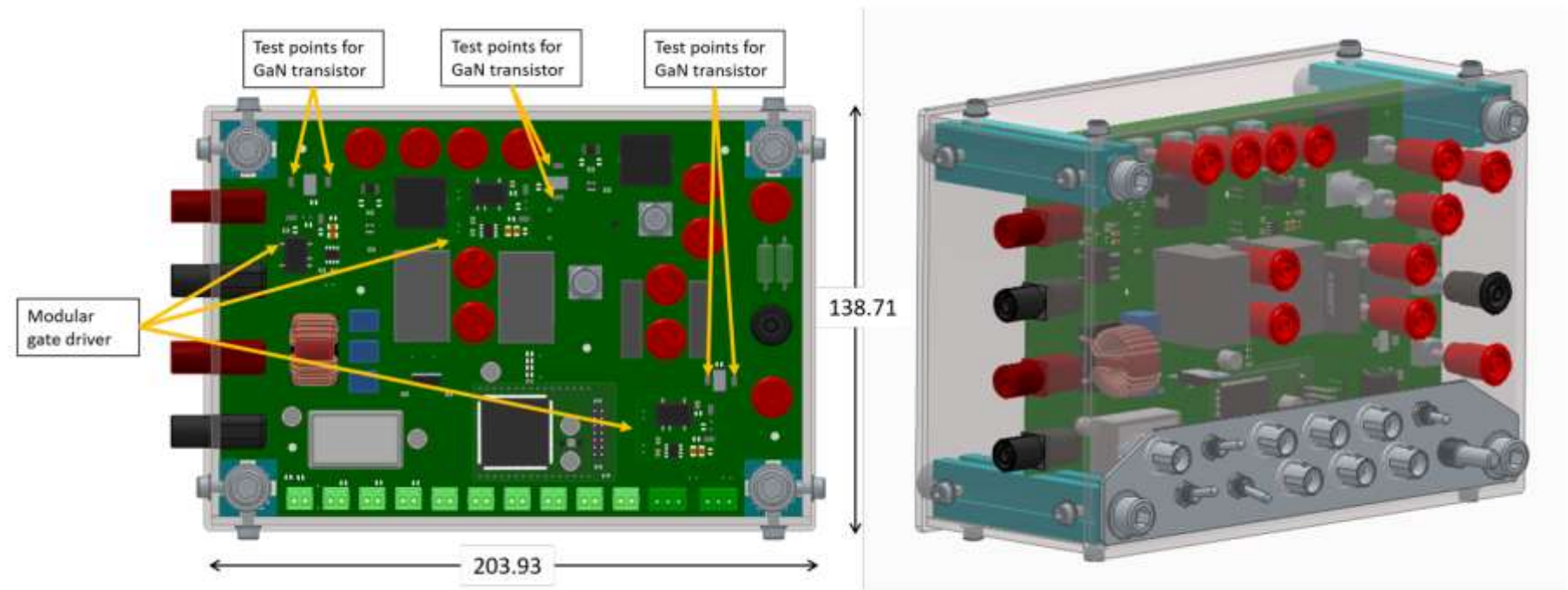


Indice de réparabilité

Conception modulaire

Points de test
Valeur de référence

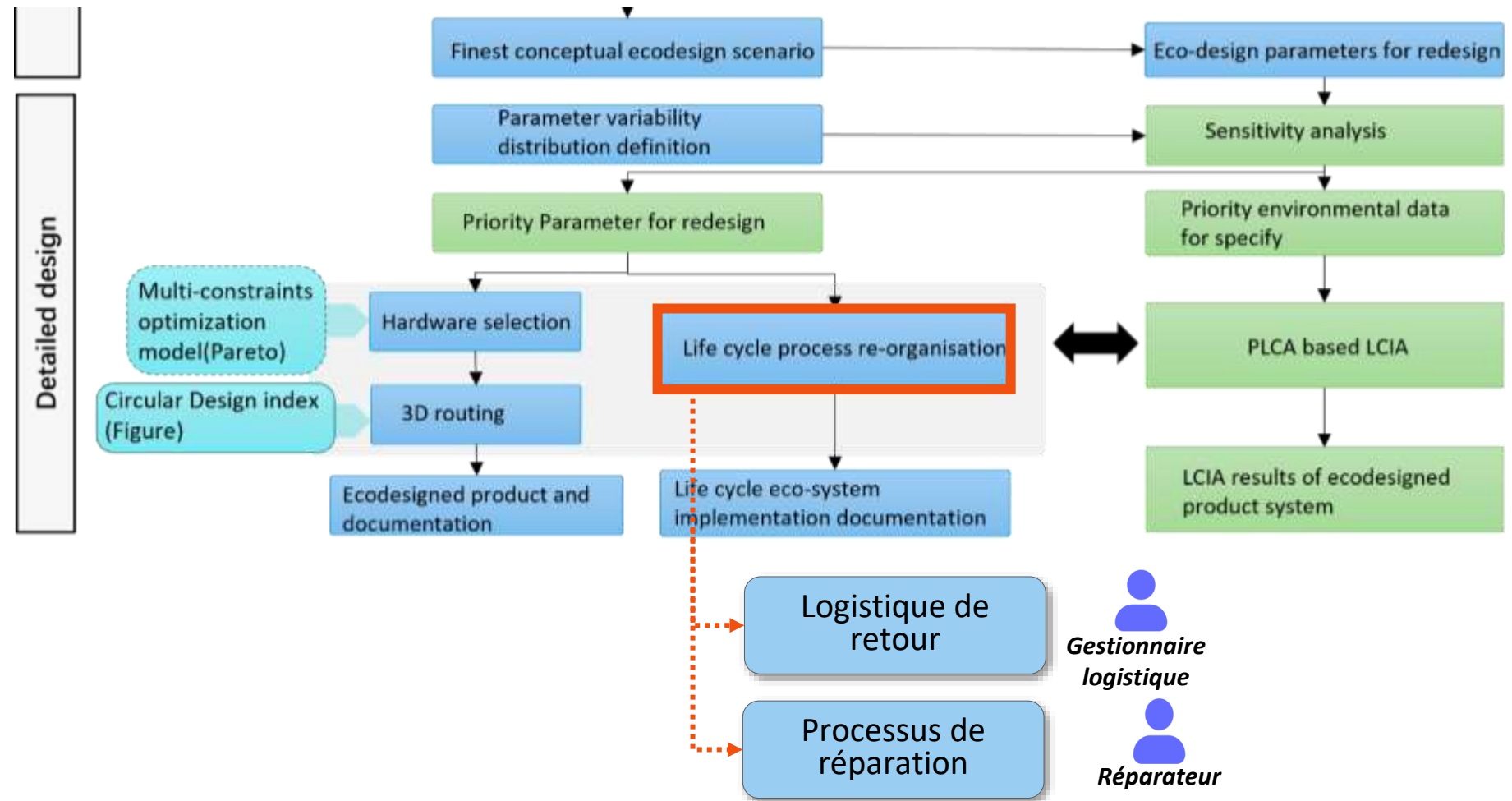
Documentations :
diagnostics, désassemblage,
remplacement



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

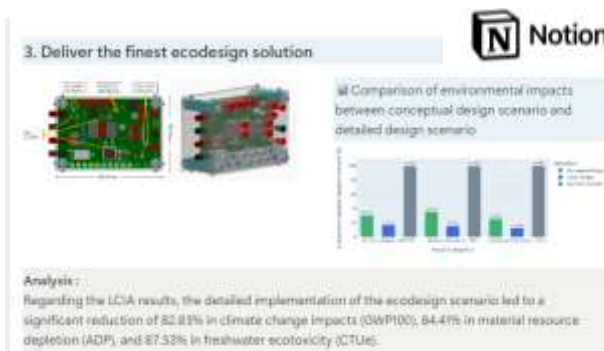
- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- Effectuer le bilan final
- Capitalisation du projet



Phase 3 : Conception Détaillée

Objectifs

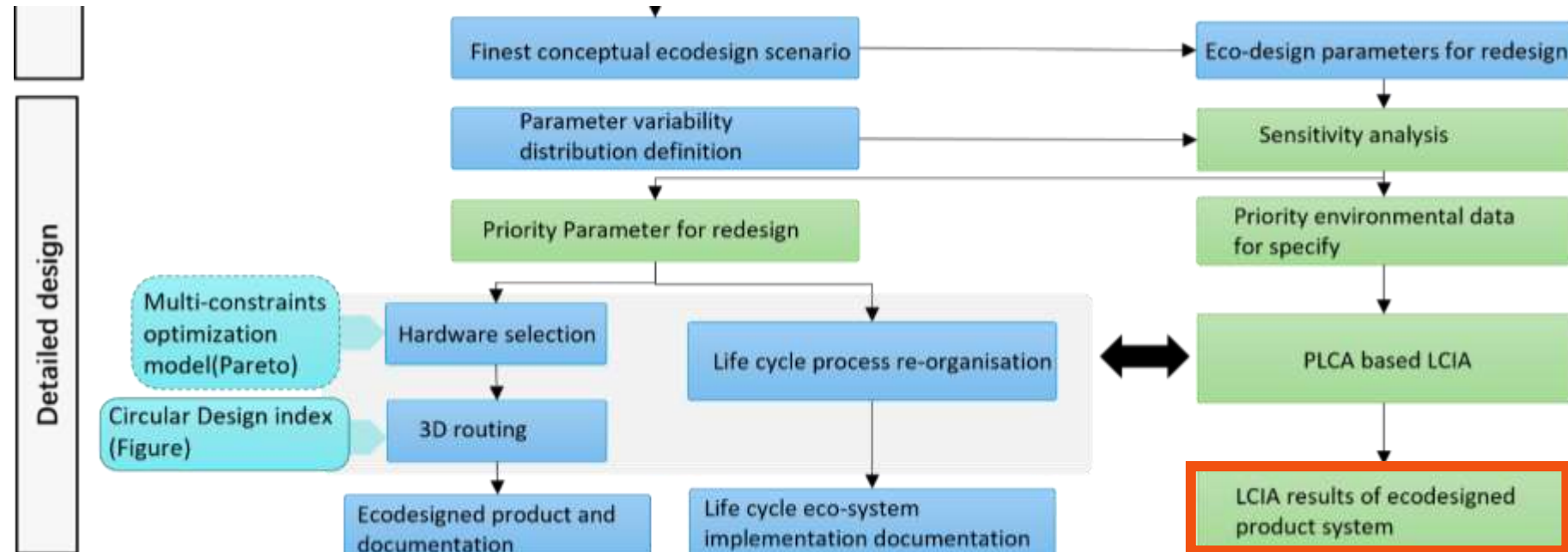
- Mise en oeuvre du scénario optimal sélectionné
- **Effectuer le bilan final**
- **Capitalisation du projet**



Bilan ACV détaillé

➡ Améliorations réalisées

➡ Bonnes pratiques



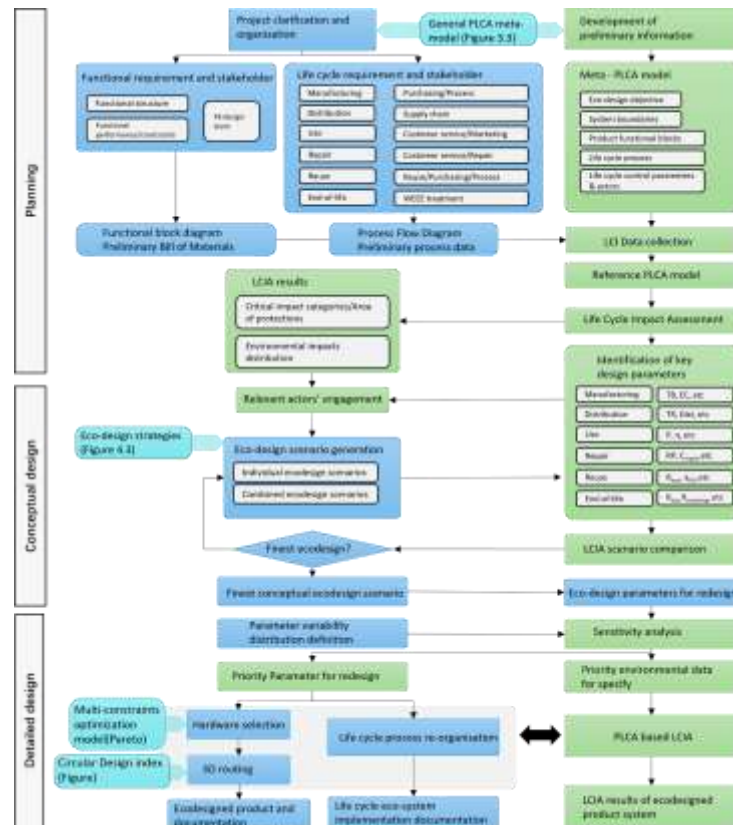
Synthèse Intermédiaire

Apport 5 :

Processus Collaboratif de l'éco-conception fondé sur l'ACV-P

Problématique 3 :

L'écoconception dans le PDP Non Opérationnelle



Eco-conception pour une maquette pédagogique



Vue d'ensemble



Focus élargie



Levers d'éco-conception



Engagement des acteurs



Génération des scénarios diversifiée



Sélection efficace

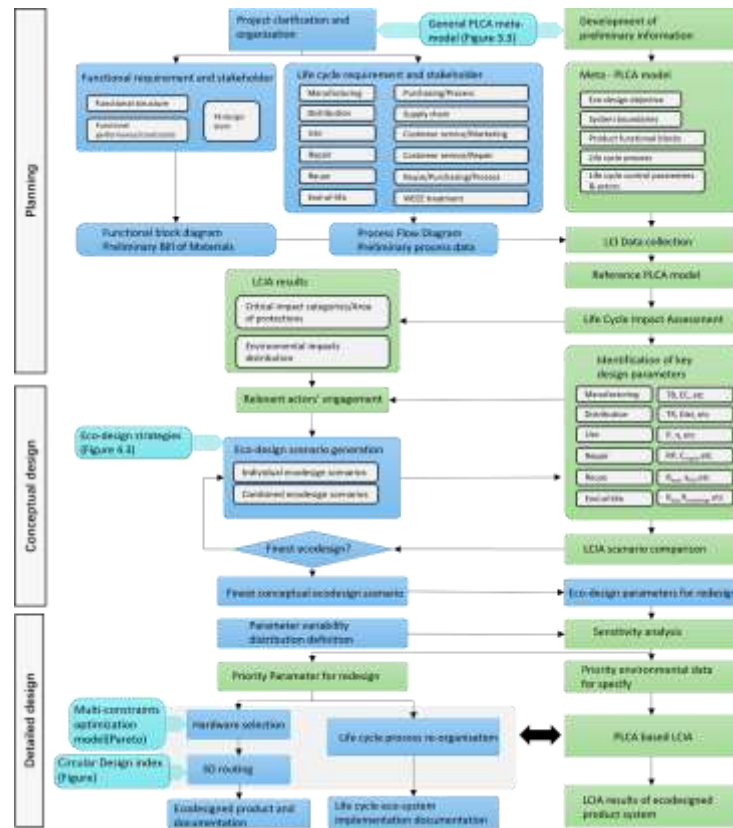
Synthèse Intermédiaire

Apport 5 :

Processus Collaboratif de l'éco-conception fondé sur l'ACV-P

Problématique 3 :

L'écoconception dans le PDP Non Opérationnelle



Limitations

01

Le processus de développement d'un **business model** adapté n'est pas encore étudié

02

Gestion des connaissances n'est pas encore intégrée

Perspectives

Intégrer le méta-modèle PLCA dans la conception d'un business model en amont

Développer des **programmes de formation** pour l'équipe de conception EP et les acteurs de la chaîne de valeur





Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

04

Collaboration essentielle entre l'équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Enrichir les données d'inventaire de la fabrication des composants électroniques est indispensable pour un **calcul d'impact plus précis** et une **prise de décision éclairée**.

Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

04

Collaboration essentielle entre l'équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Enrichir les données d'inventaire de la fabrication des composants électroniques est indispensable pour un calcul d'impact plus précis et une prise de décision éclairée.

Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

04

Collaboration essentielle entre équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Enrichir les **données d'inventaire** de la fabrication des composants électroniques est indispensable pour un **calcul d'impact plus précis** et une **prise de décision éclairée**.

Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

04

Collaboration essentielle entre l'équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Enrichir les **données d'inventaire** de la fabrication des composants électroniques est indispensable pour un **calcul d'impact plus précis** et une **prise de décision éclairée**.

Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

04

Collaboration essentielle entre l'équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Enrichir les données d'inventaire de la fabrication des composants électroniques est indispensable pour un **calcul d'impact plus précis** et une **prise de décision éclairée**.

Conclusion

01

Vue d'ensemble des paramètres d'influence à travers toutes les étapes de vie par le développement d'un **méta-modèle ACV paramétrique** de l'EP

02

Clarification des **leviers** d'écoconception pour les **acteurs** et proposition d'un cadre de recommandation des **stratégies** d'écoconception

03

Proposition d'un processus collaboratif d'écoconception pour les produits d'EP dans la perspective de l'économie circulaire

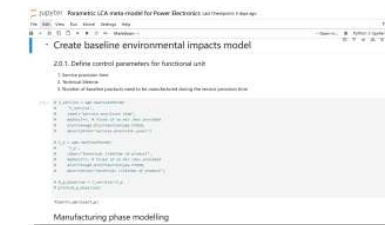
04

Collaboration essentielle entre l'équipe de conception et les acteurs de la chaîne de valeur

Implémentation d'outils open-source



Outils d'écoconception



Script de Calcul

Perspectives

01

Test, amélioration et validation de la méthodologie à travers divers **cas d'études**.

ARCHIMEDES
(Projet européen)



“Parametric Life Cycle Assessment (LCA)
of Power Modules” *EPE 2025, Paris*



Collaboration avec
L. Riondet
F. Diarrassouba

ECCONE
(Projet européen)



02

Création d'un **module de formation** d'éco-conception interdisciplinaire.



03

Intégration aux outils métiers du méta-modèle d'ACV-P utilisés par les différents acteurs de la chaîne de valeur.

Transparence des données

Suivi des impacts environnementaux

Dialogues collaboratifs

Perspectives

01

Test, amélioration et validation de la méthodologie à travers divers **cas d'études**.

ARCHIMEDES
(Projet européen)



"Parametric Life Cycle Assessment (LCA)
of Power Modules" *EPE 2025, Paris*



Collaboration avec
L. Riondet
F. Diarrassouba

ECCONE
(Projet européen)

**02**

Création d'un **module de formation** d'éco-conception interdisciplinaire.

**03**

Intégration aux outils métiers du méta-modèle d'ACV-P utilisés par les différents acteurs de la chaîne de valeur.

Transparence des données

Suivi des impacts environnementaux

Dialogues collaboratifs

Perspectives

01

Test, amélioration et validation de la méthodologie à travers divers **cas d'études**.

ARCHIMEDES
(Projet européen)



"Parametric Life Cycle Assessment (LCA)
of Power Modules" *EPE 2025, Paris*



Collaboration avec
L. Riondet
F. Diarrassouba

EECONE
(Projet européen)

**02**

Création d'une **module de formation** d'éco-conception interdisciplinaire.

**03**

Intégration aux outils métiers du méta-modèle d'ACV-P utilisés par les différents acteurs de la chaîne de valeur.

Transparence des données

Suivi des impacts environnementaux

Dialogues collaboratifs

Publications

Articles Revues

- **Fang, L.**, Rosset, Y., Sarrazin, B., Lefranc, P., & Rio, M. (2024). Parametric LCA model for power electronic ecodesign process: Addressing MOSFET-Si and HEMT-GaN technological issues. IET Power Electronics, accepté.
- **Fang, L.**, Lefranc, P., & Rio, M. (2024). Effective ecodesign implementation in power electronics: A method based on functional blocks. Cogent Engineering, 11(1).
- **Fang, L.**, Turkbay Romano, T., Rio, M., Mélot, J., & Crébier, J.-C. (2024). Enhancing sustainability in power electronics through regulations and standards: A literature review. Sustainability, 16, 1042.
- Turkbay Romano, T., **Fang, L.**, Alix, T., Rio, M., Mélot, J., Serrano, F., Lefranc, P., Lembeye, Y., Perry, N., & Crébier, J.-C. (2024). Disassemblability assessment of power electronic converters for improved circularity. Sustainability, 16, 4712.

Articles Conférences Internationales

- **Fang, L.**, Turkbay Romano, T., Alix, T., Crébier, J.-C., Lefranc, P., & Rio, M. (2023). Eco-design implementation in power electronics: A literature review. International Symposium on Advanced Technologies in Electrical Systems (SATES 23), Arras, France.
- **Fang, L.**, Lefranc, P., & Rio, M. (2023). Barriers for eco-designing circular power electronics converters. Procedia CIRP, 116, 287–292.
- **Fang, L.**, Quisbert-Trujillo, E., Lefranc, P., & Mélot, J.-C. (2024). Leading LCA result interpretation towards efficient ecodesign strategies for power electronics: The case of DC-DC buck converters. Procedia CIRP, 122, 731–736.

Articles Conférences Nationales

- **Fang, L.**, Turkbay Romano, T., Rio, M., Mélot, J., & Crébier, J.-C. (2023). L'apport des normes et de la réglementation pour la soutenabilité en électronique de puissance. Symposium de Génie Électrique (SGE 2023), Lille, France.
- Turkbay Romano, T., **Fang, L.**, Rio, M., Alix, T., Mélot, J., & Lefranc, P. (2023). Évaluation de la démontabilité des convertisseurs électroniques de puissance pour une circularité améliorée. Symposium de Génie Électrique (SGE 2023), Lille, France.

Merci de votre attention!

Li FANG

Soutenance de Doctorat

9 Janvier 2025

PhD Defense

January 9th, 2025

Spécialité : Génie Industriel, conception et production

Direction

- Maud RIO - Maîtresse de Conférence, UGA, Directrice de thèse
- Pierre LEFRANC - Maître de Conférence, Grenoble INP, Co-encadrant de thèse

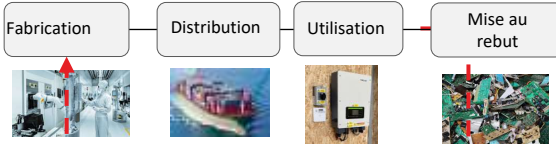
Jury

- Frédéric SEGONDS - Professeur des Universités, ENSAM
- Bruno ALLARD - Professeur des Universités, INSA Lyon
- Lionel ROUCOULES - Professeur des Universités, ENSAM
- Laurent DUPONT - Chargé de Recherche, Université Gustave Eiffel
- Carole CHARBUILLET - Maîtresse de Conférence, Institut Arts et Métiers

J4 C2 C5 Problèmes environnementaux

Impacts environnementaux potentiels

Étapes du cycle de vie



Scénarios de circularité

Réparation
Réutilisation
Recyclage

Impacts environnementaux potentiels tout au long du cycle de vie de l'EP, y compris les étapes de circularité

Phase 1 : Supports Ecoconception



Processus de développement du méta-modèle PLCA



Lignes directrices pour l'identification des paramètres PLCA



Méta-modèle PLCA pour les produits EP



Mise en œuvre dans le logiciel open-source



Cartographie des acteurs de la chaîne de valeur



Caractérisation des paramètres de contrôle



Cadre de recommandations pour les stratégies d'écoconception

Phase 2 : Supports Opérations



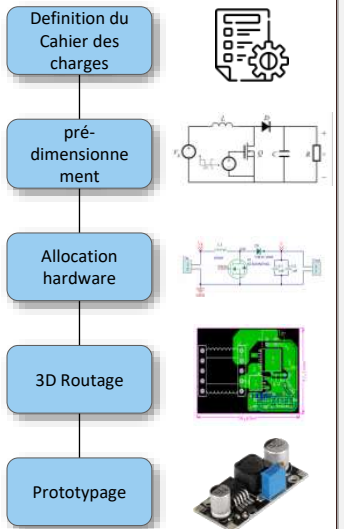
Cadre de collaboration inter-fonctionnelle pour l'intégration du processus d'écoconception basé sur le PLCA



Mise en œuvre dans le logiciel open-source

C4 Objectif PDP pour l'intégration de l'écoconception

Étapes de conception de l'électronique de puissance



Processus de développement de produit d'EP

Phase 3 : Études de cas

Convertisseur DC-DC Buck



Développement d'un exemple illustratif pour les supports d'écoconception et d'exploitation



Carte de son

Développement d'une approche générale pour encadrer le processus d'écoconception basé sur PLCA dans le développement de produits électroniques industriels

J# Publication revue
C# Publication conférence
T# Chapitre de thèse

Etat de l'art : ACV-P

Table 2.1: PLCA application in literature: Ecodesign monitoring scope and associated required parameter and case-study applications

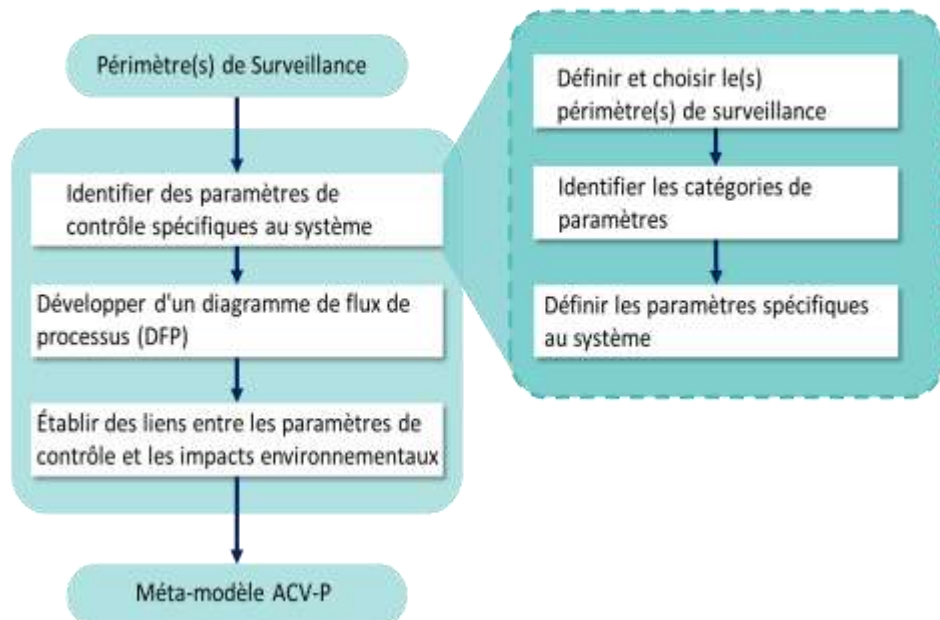
Monitoring scope	Required parameter category	Case study
Production process	Production process parameter	Wafer fabrication [91] Additive manufacturing [84] Ductile cast iron components [129] Building [83, 23, 19]
Product's entire life cycle (cradle-to-grave)	Product design parameter Product functional parameter Life cycle process parameter	Electric traction motor [101, 100] Urban [71] Hydrogen fuel cell [77] Crane boom [97] Multiple functional holder [80] Clay roof tile [80]
Product service system	Product service system parameter	City bike [17]
Product's R-scenarios	Product R-scenario parameter	Fridge [65] Brick veneer [125] Food container [72] Electric circuit breaker [127]
Sectorial forecasting	Technology evolution parameter Sector design parameters Background parameter	PV panels [35] Energy sector [48]

Table 2.2: Life cycle based parameter categories and parameters

Parameter category	Parameter	Reference
Production process parameter	Process time Process volume Energy consumption Resources consumption Waste stream	[91, 84, 129, 83, 23, 19, 80]
Product design parameter	Material and component composition Size of product (weight and volume)	[101, 100, 71, 80, 17]
Product functional parameter	Product service time Product technical lifetime Energy consumption in use Resources consumption in use Waste stream	[101, 100, 71, 80, 17]
Life cycle process parameter	Process time Process volume Energy consumption Resources consumption Waste stream	[101, 100, 77, 97, 80]
Product service system parameter	Service provision time Product technical lifetime Average time for each use Average percentage of products that go to maintenance after each use Product replacement ratio Etc.	[17]
Product's R-scenarios parameter	Effective Repair/Reuse/Remanufacturing rate Number of Repair/Reuse/Remanufacturing intervention R-scenario life cycle process parameter	[65, 125, 72, 127]
Background parameter	Electricity mix Logistics Waste treatment process	[48]
Sector design parameters	Market share of different technology in the sector	[48]
Technology evolution parameter	Material's composition and consumption Production process parameter Product functional parameter Life cycle process parameter	[35]

Identification des paramètres de contrôle à partir du périmètre de surveillance

Processus de Développement du Méta-Modèle ACV-P



 Parametric LCA Integrate life cycle environmental impacts assessment into parametric design	 Production process	Production process parameter Process time Process volume Energy consumption Resources consumption Waste stream
	 Product's entire life cycle (cradle-to-grave)	Product design parameter Material and component composition Size of product (weight and volume) Product service time Product technical lifetime Energy consumption in use Resources consumption in use Waste stream
	 Product's R-scenarios	Product functional parameter Process time Process volume Energy consumption Resources consumption Waste stream
	 Product service system	Life cycle process parameter Service provision time Product technical lifetime Average time for each use Average percentage of products that go to maintenance after each use Product replacement ratio Etc.
	 Sectorial forecasting	Product's R-scenarios parameter Effective Repair/Reuse/Remanufacturing rate Number of Repair/Reuse/Remanufacturing intervention R-scenario life cycle process parameter
		Background parameter Electricity mix Logistics Waste treatment process

Figure 2.2: Guidelines for PLCA parameters identification and definition regarding to monitoring scopes

Variations des paramètres définies pour l'analyse de sensibilité

Groupe	Name	Label	Unit	Default	Min	Max	Stakeholder
Refuse	Nb_load_resistor	Number of load resistor	Number	0	NA	NA	Fixed value
Rethink	Nb_Al_plate	Number of Al plate	Number	0	NA	NA	Fixed value
Rethink	Nb_heat_sink	Number of heat sink	Number	1	NA	NA	Fixed value
Rethink	Nb_pmma_plate	Number of PMMA plate	Number	1	NA	NA	Fixed value
Rethink	Nb_step_generator	Number of step generator	Number	0	NA	NA	Fixed value
Reduce	T_transistor_GaN	Unit impacts of transistor by integrating GaN technology	Percentage	100%	50%	200%	LC engineer
Reduce	M_filters	Size of filters	Percentage	30%	20%	40%	PE engineer
Reduce	T_gatedriver	Unit impacts of gatedriver to adapt GaN technology	Percentage	100%	50%	200%	LC engineer
Reduce	T_microcontroller	Unit impacts of microcontroller by integrating DSP	Percentage	100%	50%	200%	LC engineer
Reduce	M_pcb	Size of PCB	Percentage	80%	70%	90%	PE engineer
Repair	N_p	Number of product	Number	1	NA	NA	PE engineer
Repair	RP	Number of repair intervention	Number	2	NA	NA	Fixed value
Repair	r_repair	Design's compatibility to repair	Percentage	73%	68%	78%	PE engineer
Reuse	a_capacitor_input_filter	Functional usure of capacitor in input filter	Percentage	30%	10%	60%	PE engineer
Reuse	a_capacitor_output_filter	Functional usure of capacitor in out filter	Percentage	30%	10%	60%	PE engineer
Reuse	a_inductor_input_filter	Functional usure of inductor in input filter	Percentage	30%	10%	60%	PE engineer
Reuse	a_inductor_output_filter	Functional usure of inductor in output filter	Percentage	30%	10%	60%	PE engineer
Use	coef_ee	Energy efficiency	Percentage	100%	95%	105%	PE engineer

Modèles de conception

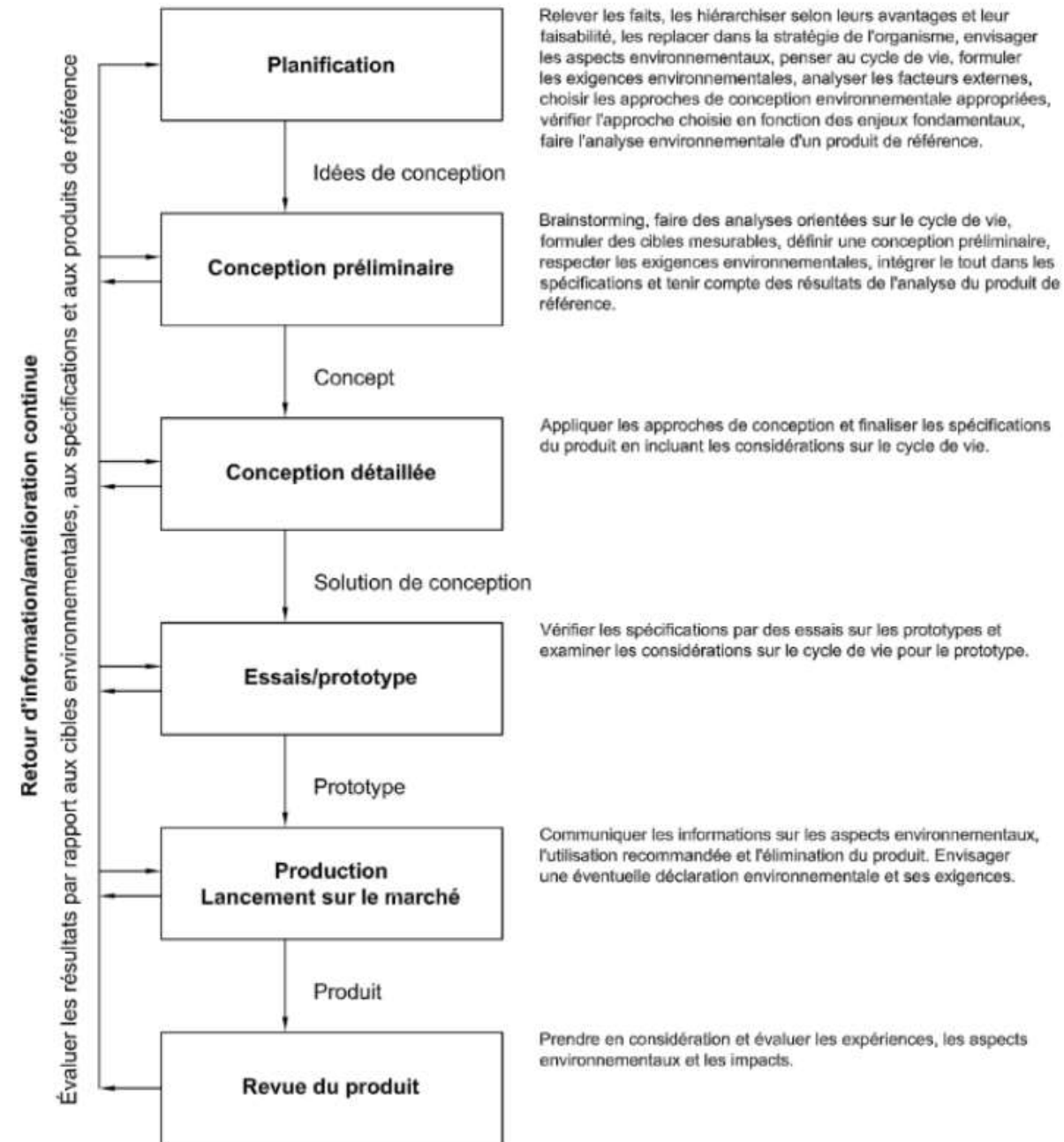


Figure 13 Standard Product Development Process (ISO14062)

Collecter les données

Mots-clés

Economie circulaire
Soutenabilité
Environnement
Eco-conception
&
ErP (Energy-related Product)
Electronique de puissance

Base de données



01

Caractérisation des documents

61 documents collectés

Critères de caractérisation

Type : Normes, Directive, réglementation, loi, autres

Spectre: Générale/ErP/EP

Obligation: Oui/Non

Cycle de vie : matière première, fabrication, usage, scenario de circularité, fin de vie

Aspects environnementaux:

Efficacité énergétique, déchets, substances dangereuses,...

Priorité lecture : Oui/Moyen/Non

Lien avec d'autres documents

02

Mise à disposition d'un inventaire

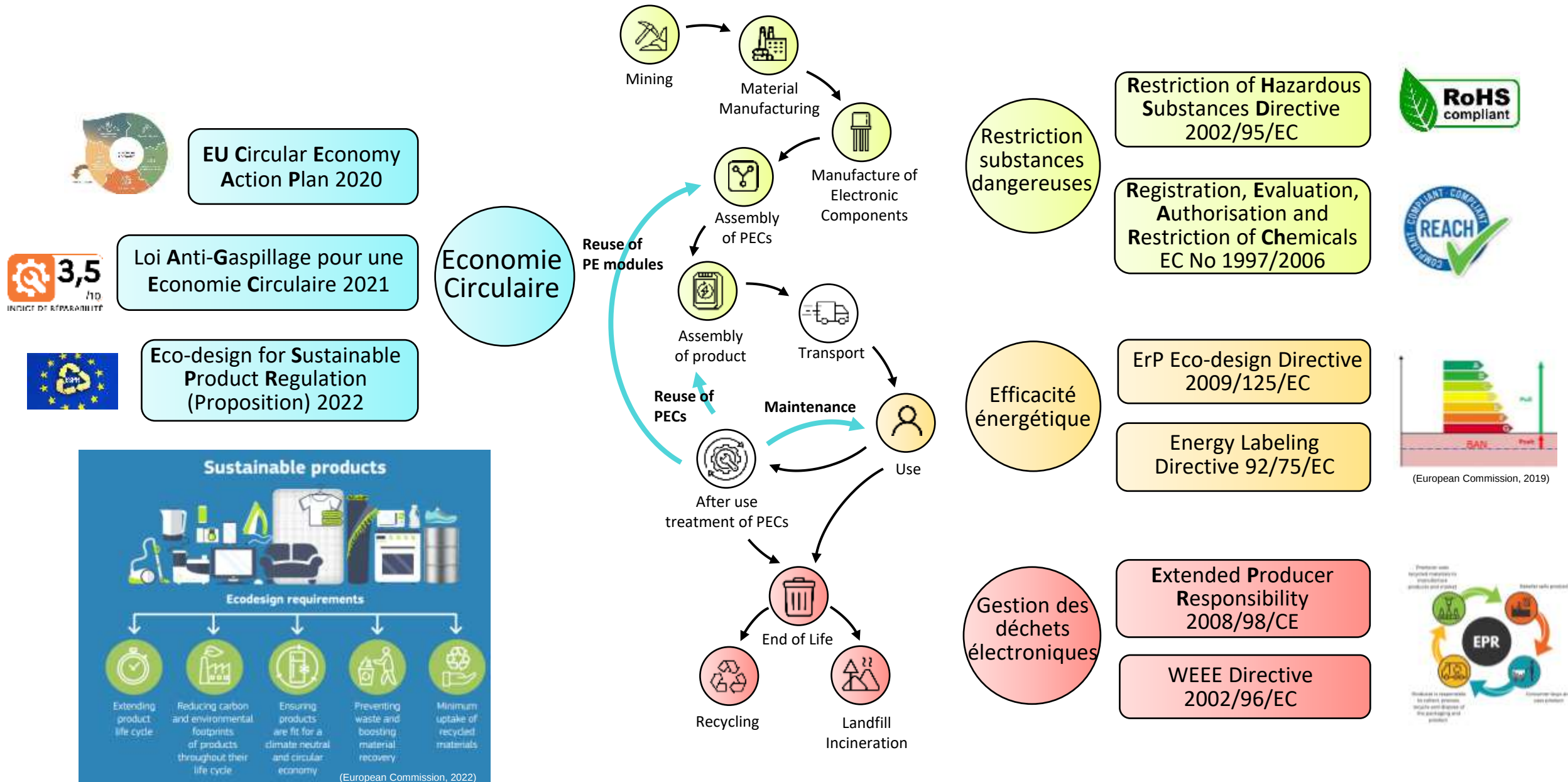
Inventaire disponible en ligne!

<https://g2elab.grenoble-inp.fr/fr/recherche/projet-vivae-contenus-techniques>



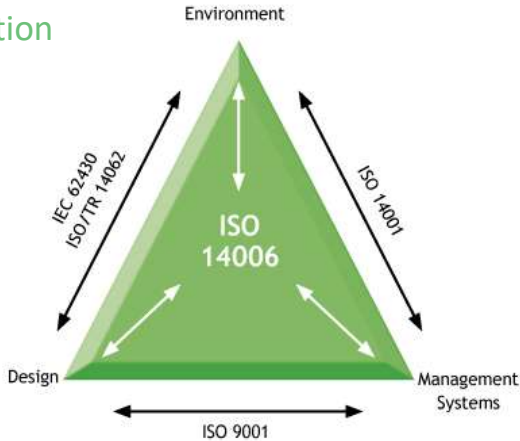
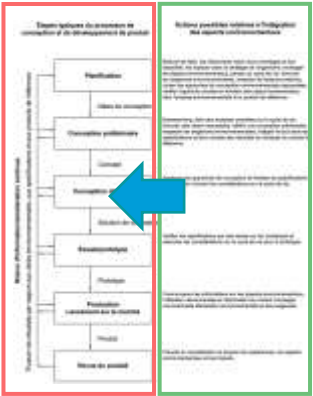
03

Résultat - Le cadre législatif



Process
Development
Produit

Actions
d'éco-conception



Intégration

ISO 14006:2006 (Lignes directrices pour intégrer l'écoconception)

EN 50598:2015 (Ecoconception de l'**électronique de puissance** et de leurs applications entraînées)

Catégories d'impacts et des indicateurs à inclure dans la déclaration environnementale

Impact Category Name	Impact Category Abbreviation	Unit
Climate Change	CC	kg CO ₂
Ozone Depletion	OD	kg CFC-11 ⁵
Photochemical Ozone Creation	POC	kg NMVOC
Terrestrial Acidification	TA	kg SO ₂
Freshwater Eutrophication	FE	kg P
Human Toxicity	HT	kg 1,4-DB
Terrestrial Eco Toxicity	TET	kg 1,4-DB
Mineral Depletion	MD	kg Fe
Fossil Depletion	FD	kg

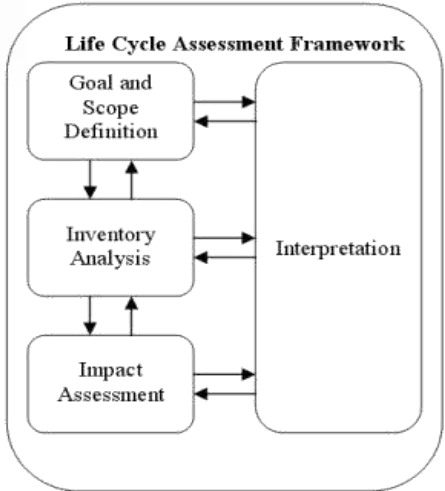
Circularité

Material Efficiency
Standards EN4555X

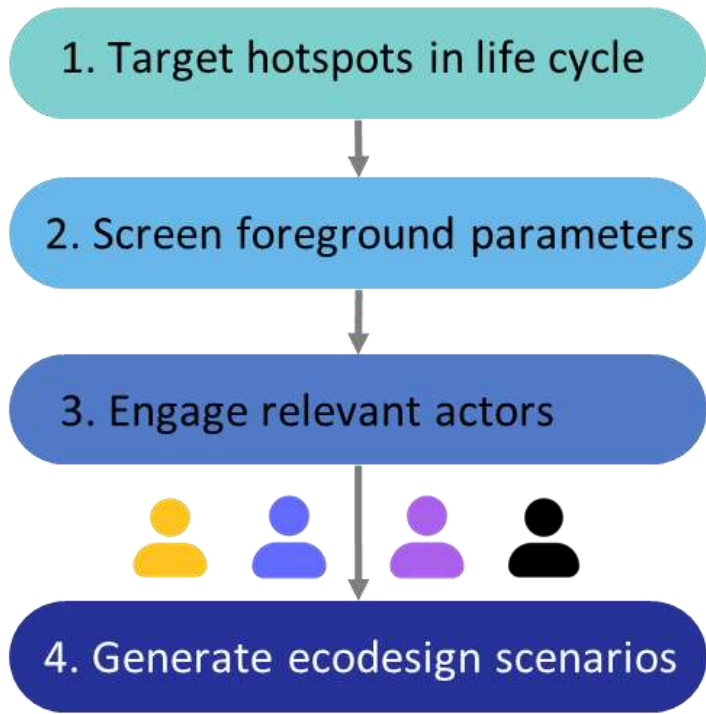
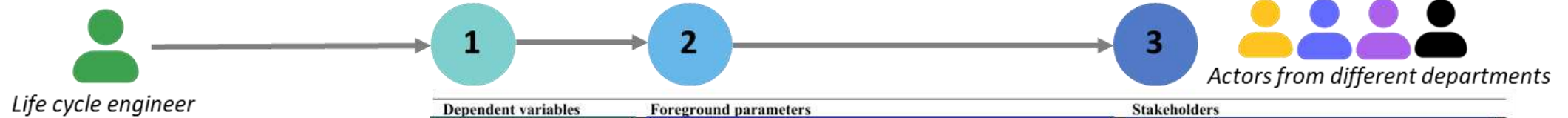


ACV

ISO 14040:2006



Référence	Titre
EN 45553:2020	Méthode générale pour l'évaluation de la capacité d'un produit lié à l'énergie à être refabriqué
EN 45554:2020	Méthodes générales pour l'évaluation de la capacité de réparation , réutilisation et amélioration des produits liés à l'énergie
EN 45555:2019	Méthodes générales pour l'évaluation de la recyclabilité et de la valorisabilité des produits liés à l'énergie



Dependent variables	Foreground parameters	Stakeholders
Environmental Impacts of Manufacturing ($EI_{\text{manufacturing}}$)	- Environmental impacts of technical blocks Manufacturing (EI_{manTBj}) - Number of technical blocks (TB) - Number of electronic components (EC) - Technology of electronic components (TEC_i) - Manufacturing site of electronic components ($MSEC_i$) - Size of electronic components (MEC_i) - Soldering technics (ST_i), Number of soldering points (SP_i) - Mass of product (M_p) - Number of products (N_p) - Service provision years (Y_{service}) - Technical lifetime of product (Y_p)	- R&D team and Marketing (EI_{manTBj}, TB, EC, N_p, Y_{service}, Y_p, M_p) - Hardware engineer (TEC_i, $MSEC_i$, MEC_i, ST_i, SP_i, M_p) - Outsource layout engineer (ST_i, SP_i, M_p) - Component manufacturers (EI_{manTBj}, TEC_i, $MSEC_i$, MEC_i, M_p) - Original Equipment/Contract Manufacturers(EI_{manTBj}, M_p)
Environmental Impacts of Transport ($EI_{\text{transport}}$)	Mass of transported material ($M_{TR,i}$)	R&D team and Marketing, Hardware engineer, Outsource layout engineer, Component manufacturers, Component manufacturers ($M_{TR,i}$)
Environmental Impacts of Usage (EI_{use})	- Average load power (P) - Average energy efficiency (η) - Total operation time(T_{op})	- R&D team and Marketing (P, T_{op}, η) - Outsource layout engineer; Component manufacturers (η) - Consumer (P, T_{op})
Environmental Impacts of product Repair (EI_{repair})	- Number of repair intervention (RP), - Design's Compatibility for Repair (C_{repair}) - Size of target component for repair ($MEC_{\text{repair},i}$) - Environmental impacts of spare parts manufacturing ($EISP_i$) - Effective repair rate(r_{repair}) - Number of spareparts required (SP_i)	- R&D team and Marketing (RP, C_{repair}, $MEC_{\text{repair},i}$, $EISP_i$, r_{repair}, SP_i) - Hardware engineer and Outsource layout engineer (C_{repair}, r_{repair}) - Repairer (RP, C_{repair}, $MEC_{\text{repair},i}$, $EISP_i$, r_{repair}, SP_i)
Environmental Impacts of components reuse(EI_{reuse})	- Number of reusable components (RU) - Size of target components for reuse ($MEC_{\text{reuse},i}$) - Functional wear during first service cycle ($a_{EC,i}$) - Environmental impacts of reusable components manufacturing and end of life treatment ($EI_{\text{reuse},i}$)	- R&D team and Marketing (RU, $MEC_{\text{reuse},i}$, $a_{EC,i}$, $EI_{\text{reuse},i}$) - Hardware engineer and Outsource layout engineer ($a_{EC,i}$, $EI_{\text{reuse},i}$) - Reuse manufacturer (RU, $MEC_{\text{reuse},i}$, $a_{EC,i}$, $EI_{\text{reuse},i}$)
Environmental Impacts of Recycling ($EI_{\text{recycling}}$)	- End of use controlled collection rate (R_{cou}) - Mass of recyclable components ($M_{\text{recycling},i}$) - Number of recyclable components (RC)	- Marketing and After-sale service (R_{cou}) - R&D team, Hardware engineer and Outsource layout engineer(RC, $M_{\text{recycling},i}$) - Recycling companies (RC, $M_{\text{recycling},i}$) - After-sale service (R_{cou})
Environmental impacts of formal disposal $EI_{\text{disposal(F)}}$	Collection rate in WEEE stream (R_{weee})	After-sale service (R_{cou})
Environmental impacts of informal disposal $EI_{\text{disposal(NF)}}$	Percentage of non-documented waste ($1-R_{\text{cou}}-R_{\text{weee}}$)	After-sale service (R_{cou})



Strategies

Key parameters

Narrowing the loop
(Incremental)

**Energy &
Resource
efficiency**

Energy
efficiency

Average energy efficiency during use
optimization

Eco-sizing

Dimensional parameters or material
properties optimization

Eco-
reliability

Material choice optimization for the just
reliability requirement

Energy efficiency (η)
Electronic components(EC_i)

Narrowing the loop
(Radical)

**Functional
innovation**

Refuse

Cancelling unnecessary functionalities

Reduce

Alternative technical solution for less
resource consumption

Rethink

Multifunctionality, alternative functional
configuration

Technical block(TB_i)
Electronic components(EC_i)

Slowing/Closing the loop

**Resources
sufficiency**

Rethink

Modularity, standardization for optimizing
design's compatibility to repair/reuse

Repair

Plan repair or maintenance of
malfunctioning product to extend
product's technical lifetime

Reuse

Plan reuse of product or sub-
parts/components for the same or
different function after the first usage

Technical lifetime(Y_p)
Repair intervention(RP)
Compatibility to repair(C_{repair})
Reusable components (RU)
Functional wear during first
service cycle (aEC_i)

Application of LCA for ecodesign in Power Electronics

1 Size of filters

	Initial functional specification  with MOSFET Si Fdec = 20 kHz	Modified functional specification with HEMT GaN Fdec = 300 kHz 
Input inductance	20 uH	1.33 uH
Input capacitor	78 uF	5.2 uF
Output inductance	400 uH	26.6 uH
Output capacitor	7.8 uF	0.52 uF

Reduction of manufacturing impacts of filters can be approximated by the proportion of mass reduction :
(1/6~1/3) of initial filters mass

Secondary effects

- Transistor's technology
- Gate Driver's technology
- Microcontroller's technology
- PCB's size
- Total mass
- Energy Efficiency
- Design's compatibility to repair

What are the potential environmental gains and losses ?

How will the variation of these parameters influence the results?

Prospective LCA with sensitivity analysis

- 1 Define variation of parameters (Default + [Min, Max])
- 2 Calculate potential environmental impacts
- 3 Analyse parameter's sensitivity to results

Parametric LCA based ecodesign process (ANR VIVAE, Thesis Li Fang)

For the company :

- **Develop ecodesign and operational supports** tailored to their specific product development process.
- Test the PLCA-based ecodesign process on **one of their products** and **generate ecodesign scenarios**.
- Identify the **requirements for maintaining ecodesign integration** within their organizational structure and ensure its continuity in future projects.

sounds like
DIGIGRAM



Implemented PLCA based ecodesign process to company's product development process



Targeted ecodesign levers

Short-term action

- Energy efficiency : technical block redesign

Medium/long-term ecodesign projects identified in R&D and marketing

- Functional innovation : system architecture reconfiguration

- Resource sufficiency : components reuse



Formulated requirements for maintaining ecodesign integration

1.Ecodesign Project Management: Establish a dedicated role for a life cycle engineer within the company.

2.Consolidation of Cross-Functional Collaboration

Framework: Implement training programs for R&D and marketing teams (product design team).

3.Model Updatability: Ensure that parameters and data in the PLCA model are regularly updated to maintain accuracy and relevance.