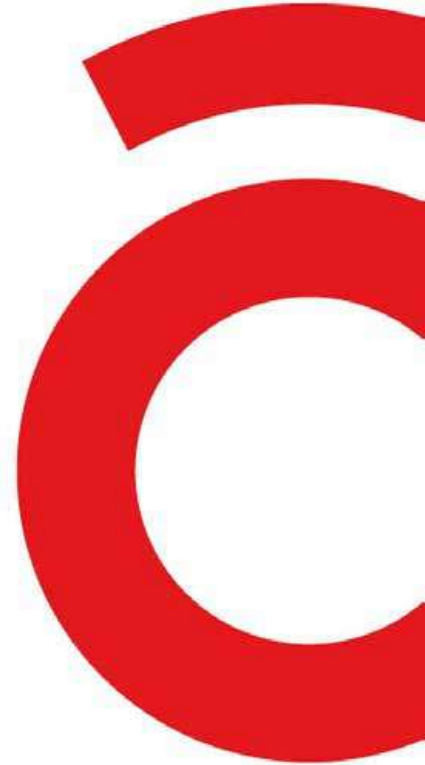


# RENCÔNTRES

Scientifiques & Techniques

## Atelier TEC. N°2: Eco-conception & ACV **Bienvenue !**



Avec le soutien de



Mot d'accueil / Introduction

**Loïc Jegou, IUT de Saint-Brieuc / Delphin Pantaloni, Chargé de mission éco-conception - INNOZH Composite**

## ATELIER 1 : ECO-CONCEPTION

Introduction générale à l'Ecoconception

**Faustine Berthy - POLE ECO-CONCEPTION**

Réduire l'impact environnemental de nos bateaux

**Youn Aubry, référent ACV - MERCONCEPT**

Résine Elium®, une innovation de rupture dans le monde des composites

**Pierre Gerard, ingénieur R&D - ARKEMA**

## ATELIER 2 : ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

Introduction générale à l'ACV

**Oliver Kerbrat, Professeur des Universités à l'ENS de Rennes**

ACV de systèmes complexes, retour d'expérience dans le domaine naval avec le projet EcoPlex

**Frédéric Madiot, responsable marketing chez OBEO - PROJET ECOPLEX**

Transport Ferroviaire – ACV Bio composites Feu/Fumée

**Franck Callebert, responsable Industrialisation - DEPESTELE**

ACV, un outil de mesure pour respecter les limites planétaires

**Régis Janvier, ingénieur - KARBON ETHIC**

## 12h40 : COCKTAIL & VISITE DES ATELIERS

14H - 16H : ATELIER INSPIR'ACTION, L'ECO-CONCEPTION PAS A PAS

**Faustine Berthy - POLE ECO-CONCEPTION**

# RENCÔNTRES

Scientifiques & Techniques

## Atelier TEC. N°2: Eco-conception & ACV **Mot du directeur de l'IUT**

**Loïc Jegou**  
Directeur de l'IUT de Saint-Brieuc  
Docteur en mécanique des matériaux



Université  
de Rennes

# RENCÔNTRES

Scientifiques & Techniques

## Atelier TEC. N°2: Eco-conception & ACV Introduction

23 novembre 2023

Pauline Chong : Adjointe de direction

Delphin Pantaloni : Chargé de mission éco-conception



Avec le soutien de



## Notre mission

### Promouvoir et Accompagner l'**innovation** auprès des entreprises et du territoire

#### FORMATION



- ▶ **Expertise en formation**
- ▶ **Organisation** d'événements scientifiques

#### TECHNOPOLE

- ▶ **Accompagnement** stratégique des entreprises innovantes
- ▶ **Ateliers et programmes** collectifs
- ▶ **Animation** de l'écosystème



#### SANTÉ & PRODUCTIONS ANIMALES

- ▶ **Partenaire** de recherche
- ▶ **Etudes** clinique & zootechniques
- ▶ **experimentation** en élevage

#### COMPOSITE

- ▶ **Caractérisation** de matériaux polymère, composites et faibles impacts
- ▶ **Développement de produit et procédé**
- ▶ **Appui technique à l'éco-conception**

Près de 30 ans  
Au service de l'Innovation

28 collaborateurs

Siège au ZOOPOLE, Ploufragan  
1 antenne à l'IUT de Saint-Brieuc

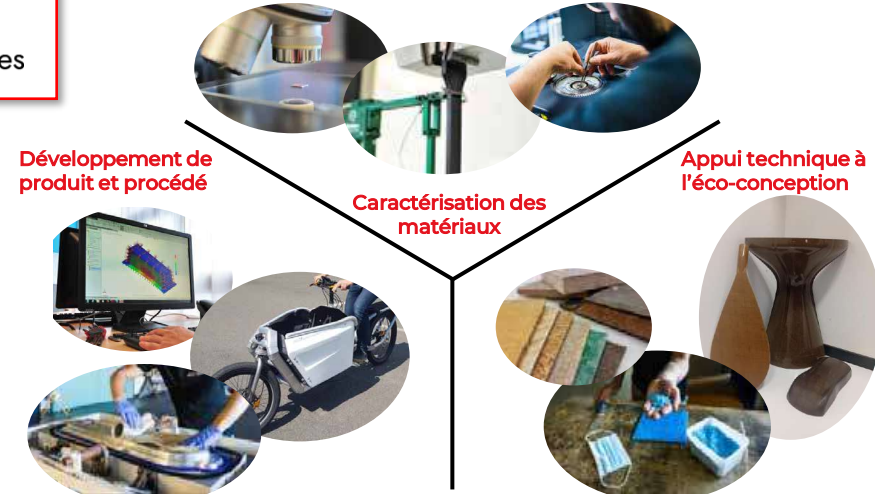
## Centre technique des matériaux polymères et composites

**CRT** centre de ressources technologiques

### Notre raison d'être :

Innozh composite est le **centre technique** des composites et polymères qui conseille et œuvre à l'**innovation** ainsi qu'à la **diminution de l'impact environnemental des matériaux**.

Son équipe d'experts caractérise, développe et met en œuvre des produits pour les acteurs économiques grâce des laboratoires et ateliers spécialisés.

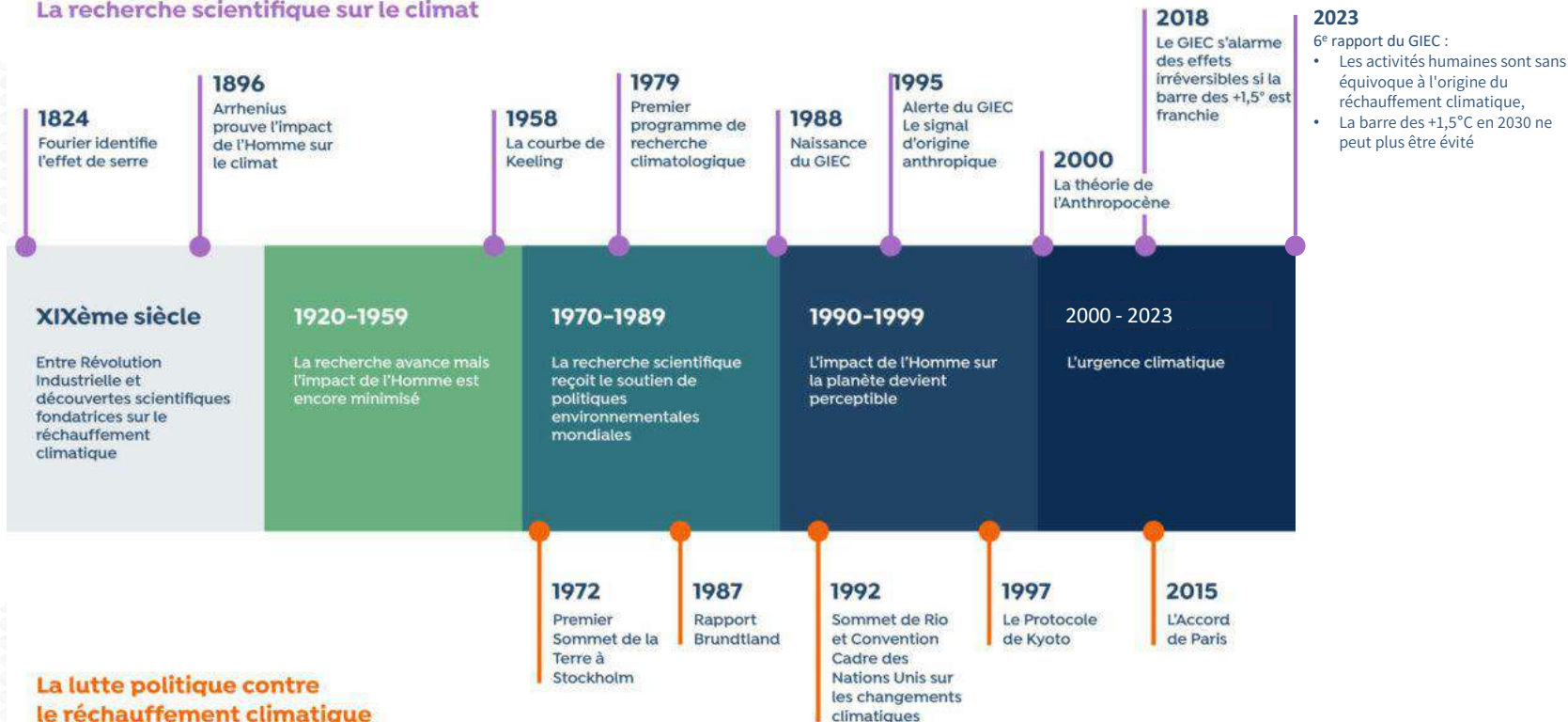




# Contexte environnemental

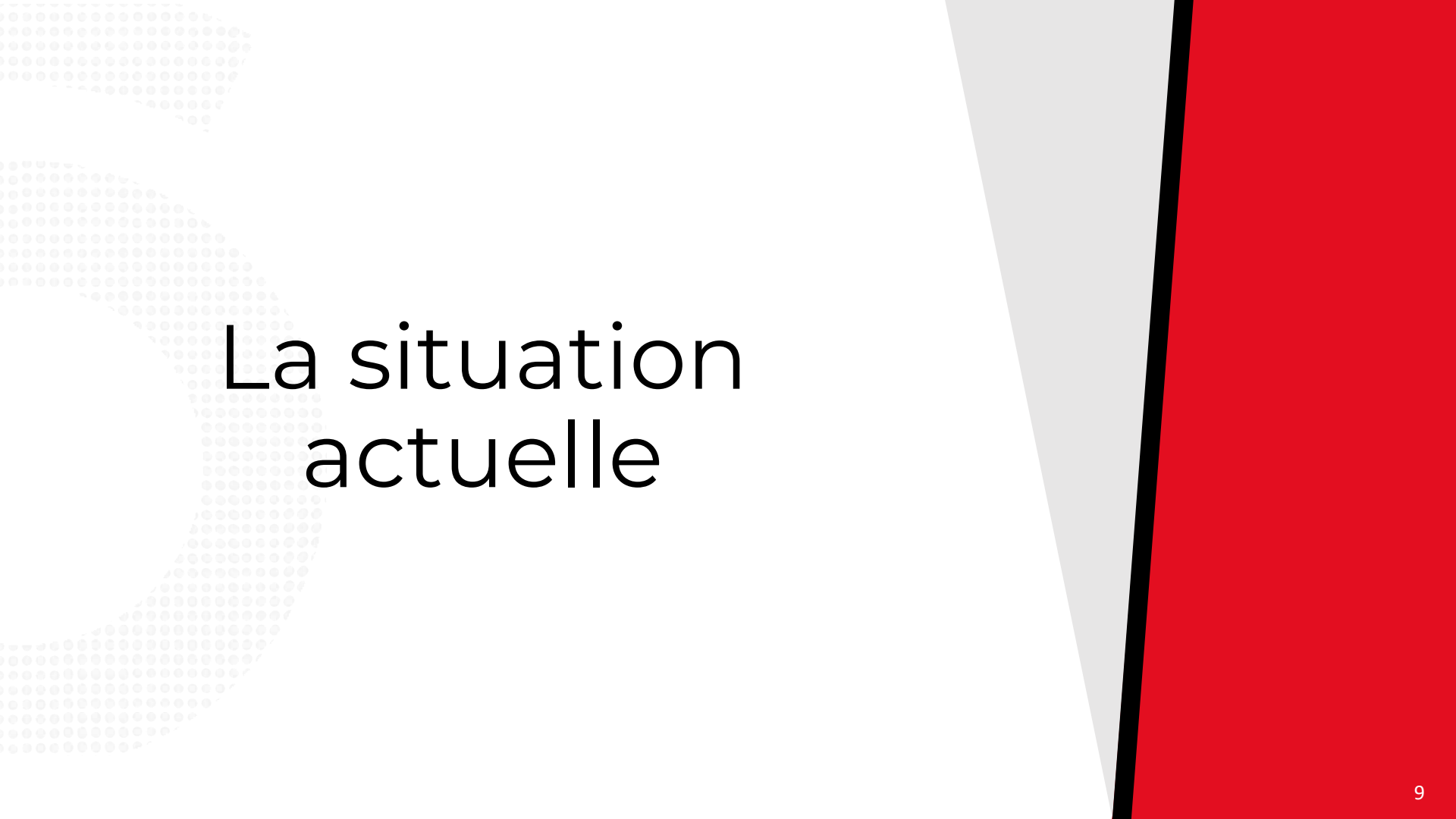
# Un peu d'histoire

## La recherche scientifique sur le climat



## La lutte politique contre le réchauffement climatique





# La situation actuelle

# Réchauffement climatique

## Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry<sup>1</sup>. Land use change is not included.

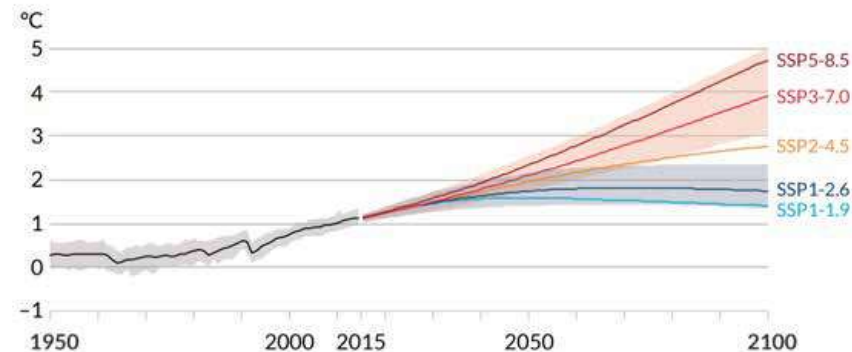


Data source: Global Carbon Budget (2022)

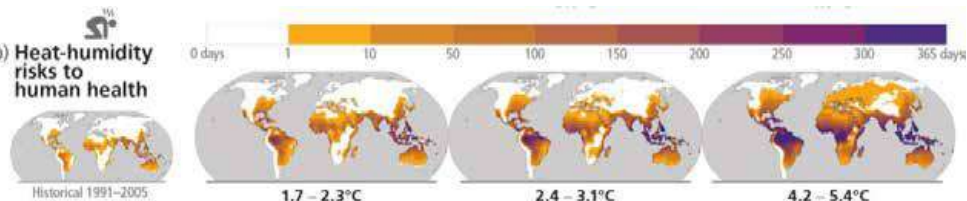
[OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions](https://OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions) | CC

<sup>1</sup> **Fossil emissions:** Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO<sub>2</sub> includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

(a) Changement de la température à la surface du globe par rapport à 1850–1900



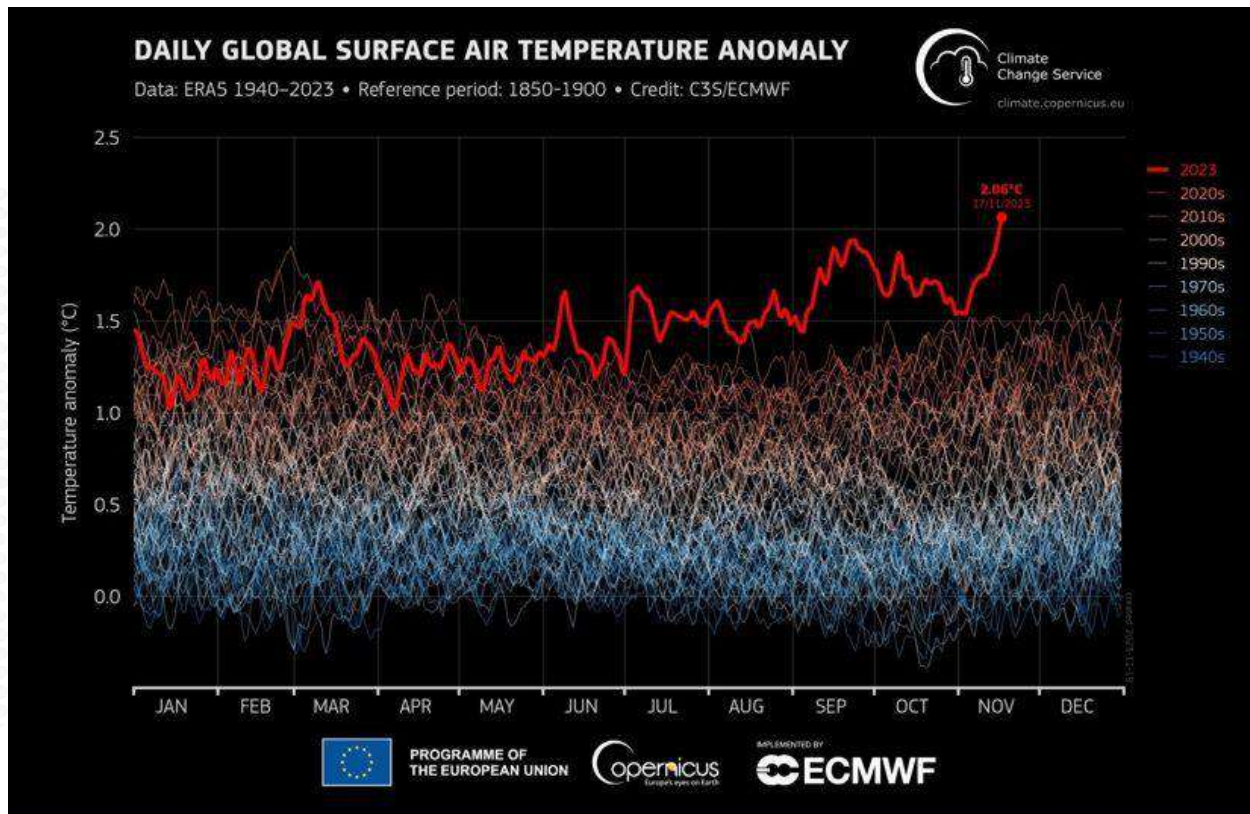
b) Heat-humidity risks to human health



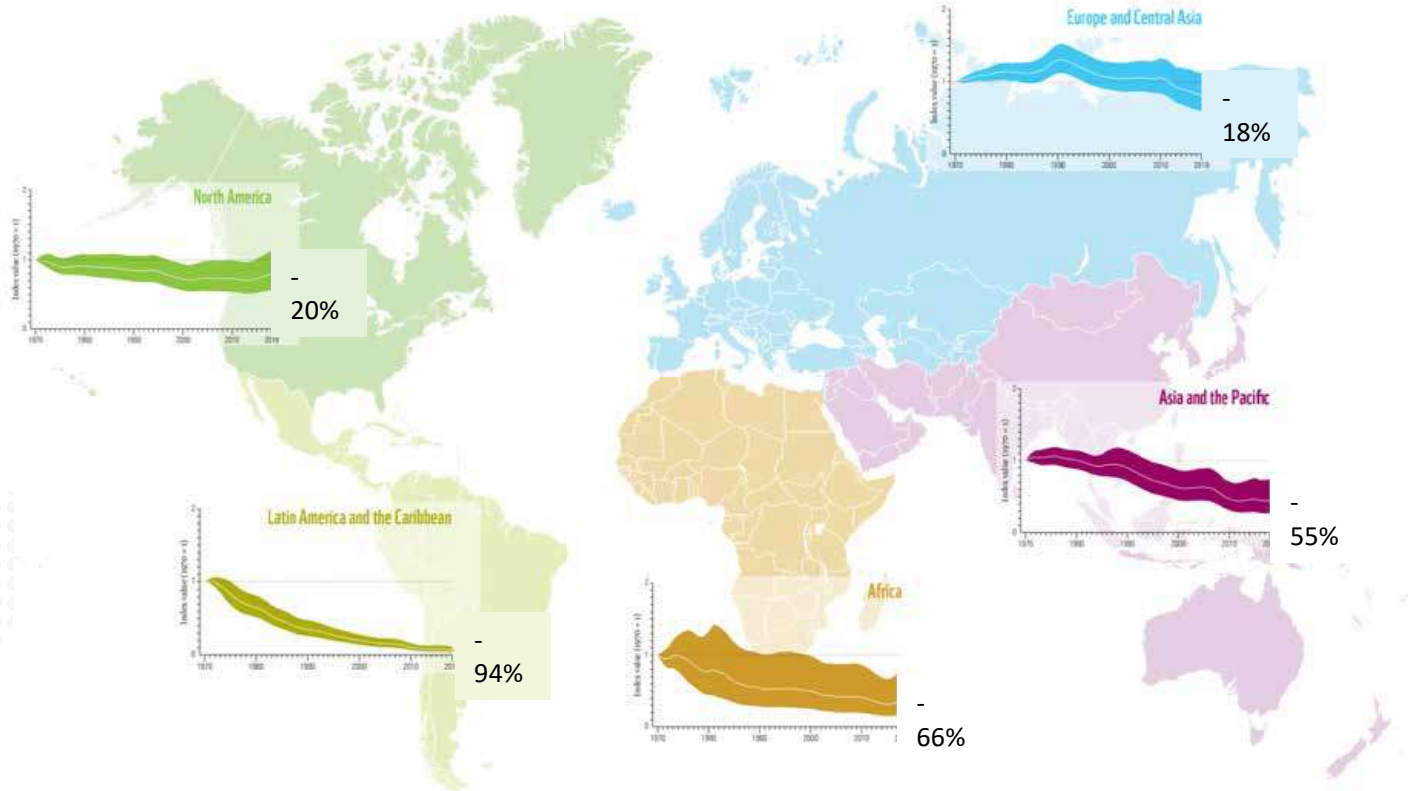
Days per year where combined temperature and humidity conditions pose a risk of mortality to individuals<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Projected regional impacts utilize a global threshold beyond which daily mean surface air temperature and relative humidity may induce hyperthermia that poses a risk of mortality. The duration and intensity of heatwaves are not presented here. Heat-related health outcomes vary by location and are highly moderated by socio-economic, occupational and other non-climatic determinants of individual health and socio-economic vulnerability. The threshold used in these maps is based on a single study that synthesized data from 783 cases to determine the relationship between heat-humidity conditions and mortality drawn largely from observations in temperate climates.

# Un peu d'actualité ...



# Réduction biodiversité



**Figure 3: The global Living Planet Index (1970 to 2018)**  
The average change in relative abundance of 31,821 populations, representing 5,230 species monitored across the globe, was a decline of 69%. The white line shows the index values and the shaded areas represent the statistical certainty surrounding the trend (95% statistical certainty, range 63% to 75%).  
Source: WWF/ZSL (2022)<sup>184</sup>.

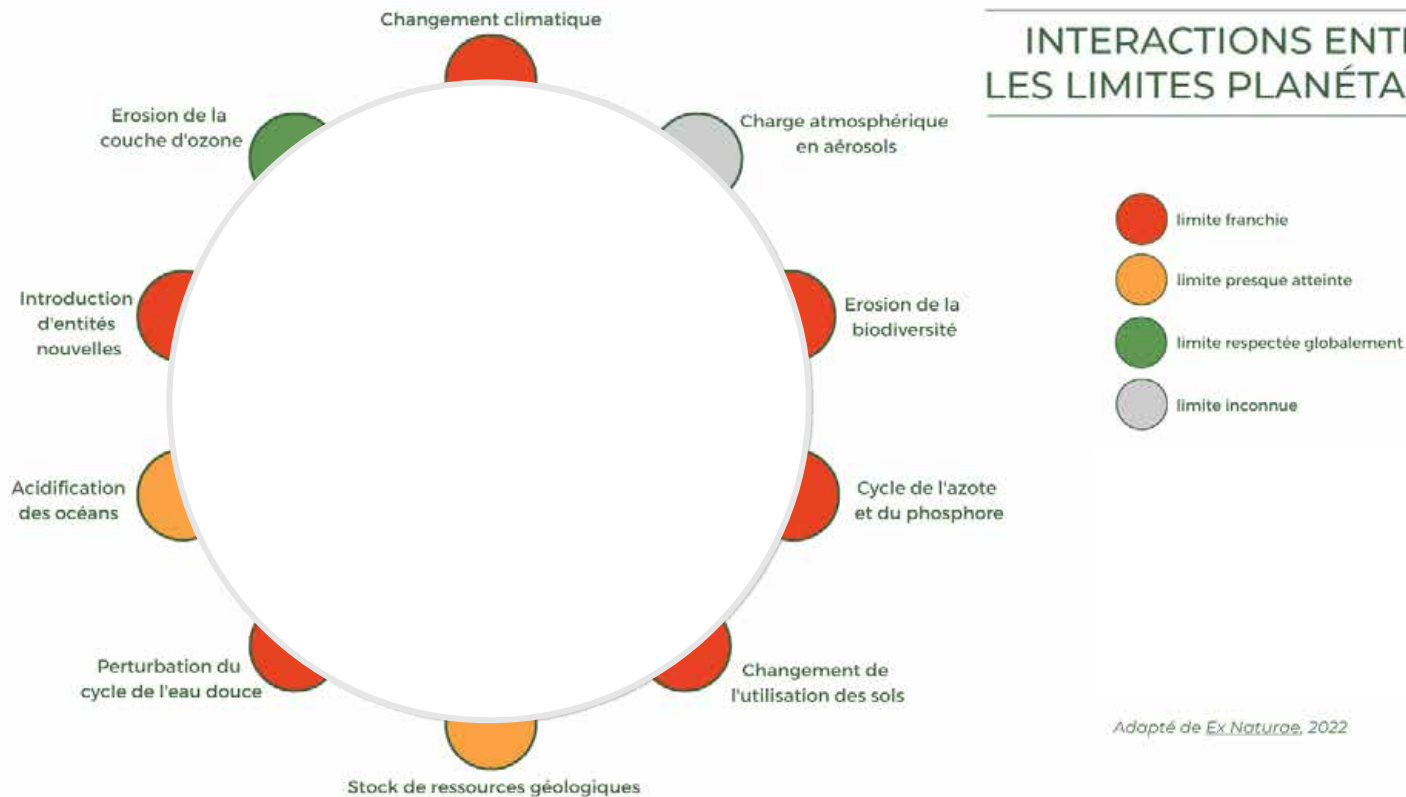
## Key

- Global Living Planet Index
- Confidence limits



# Limite planétaire

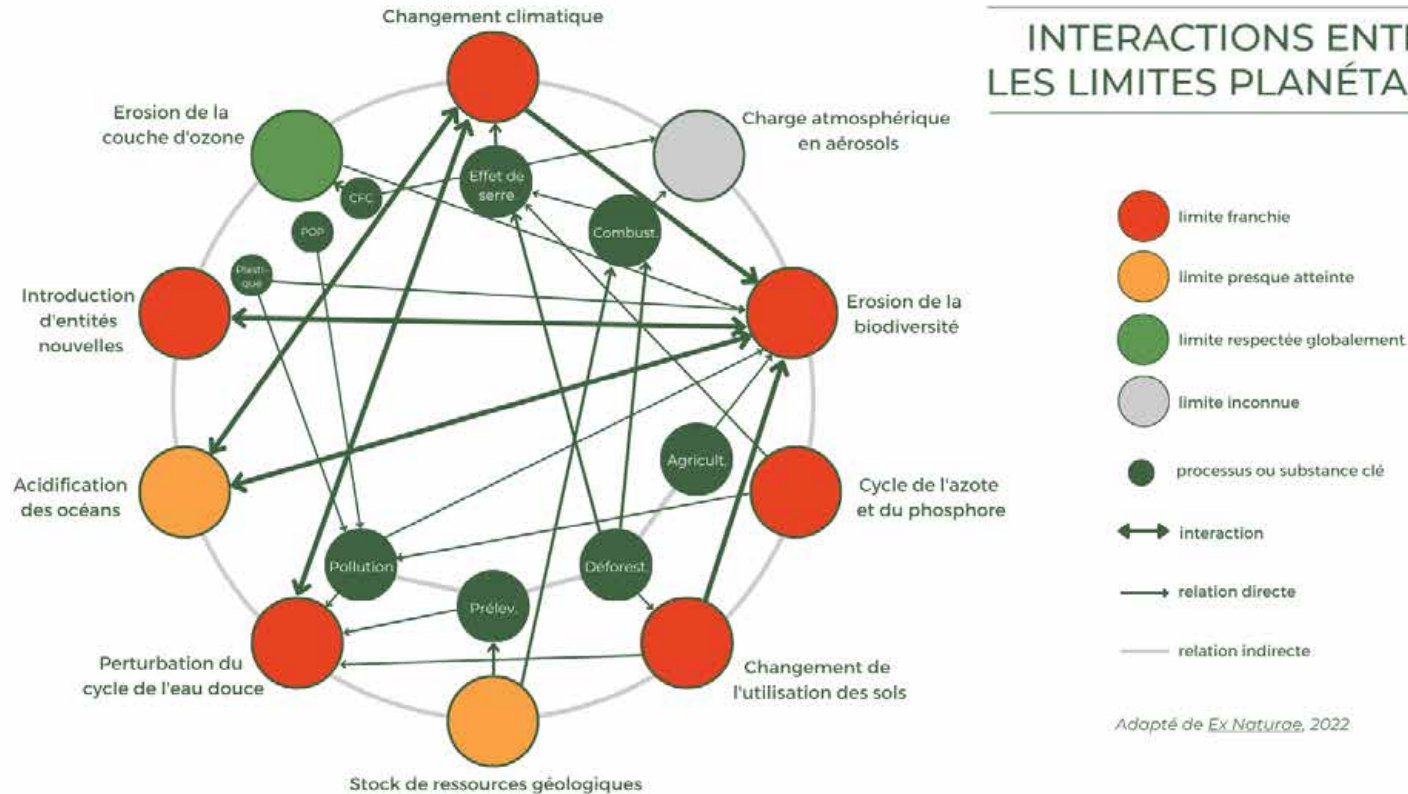
(si dépassé, augmentation du risque de déstabiliser l'environnement planétaire de manière irréversible)



Adapté de *Ex Natura*, 2022

# Limite planétaire

(si dépassé, augmentation du risque de déstabiliser l'environnement planétaire de manière irréversible)





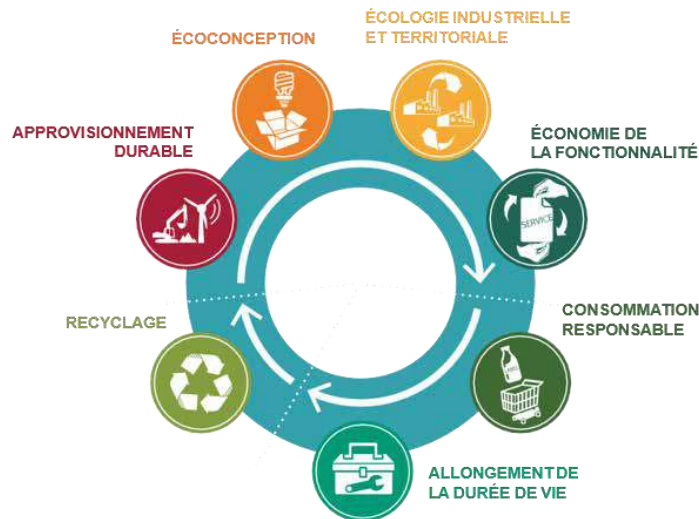
# Une alternative à l'économie linéaire

# L'économie circulaire

## Un idéal à atteindre ?

### Définition :

L'économie circulaire peut se définir comme un **système économique d'échange et de production** qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à **augmenter l'efficacité** de l'utilisation **des ressources** et à **diminuer l'impact sur l'environnement** tout en **développant le bien être des individus** (ADEME)





**Merci**

# Introduction générale à l'éco-conception

Faustine Berthy  
Pôle Eco-conception



# Présentation

Ingénieur éco-conception

[faustine.berthy@eco-conception.fr](mailto:faustine.berthy@eco-conception.fr)

07.81.19.02.21

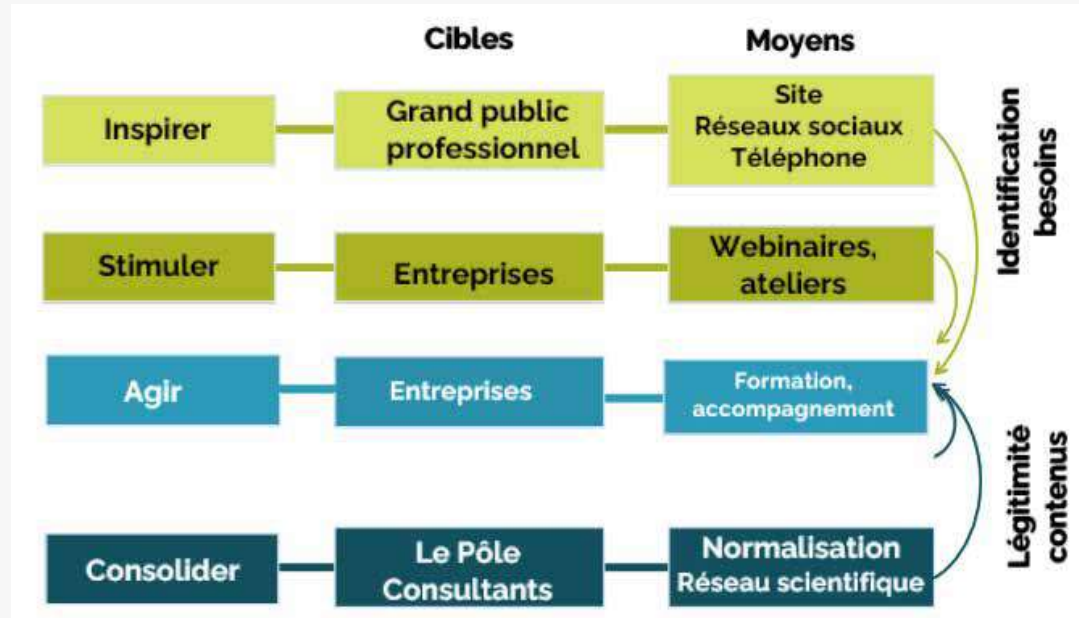


- Réalisation d'analyse de cycle de vie (ACV), accompagnements éco-conception secteur Chimie
- Expériences dans le domaine des plastiques et de l'environnement
- DUT chimie et Master Chimie et Sciences des Matériaux

# Le Pôle Eco-conception

## Centre national sur l'éco-conception et la performance par le cycle de vie

- Association créée en 2008
- Basée à Lyon et Saint-Etienne
- Antennes en Normandie et Occitanie
- Accompagnement des organisations



# Définition de l'éco-conception

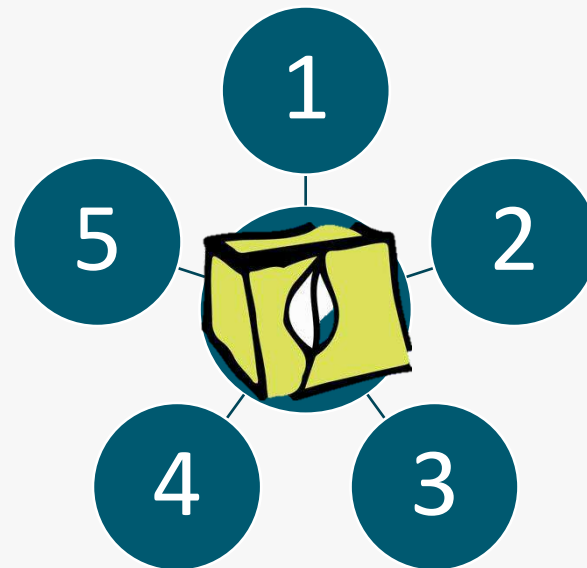
*Définition de la norme ISO 14006 :*

**Approche méthodique** qui prend en **considération les aspects environnementaux** dans le processus de conception et développement, dans le but **de réduire les impacts environnementaux négatifs** tout au long du cycle de vie d'un produit ou service.



# Définition de l'éco-conception

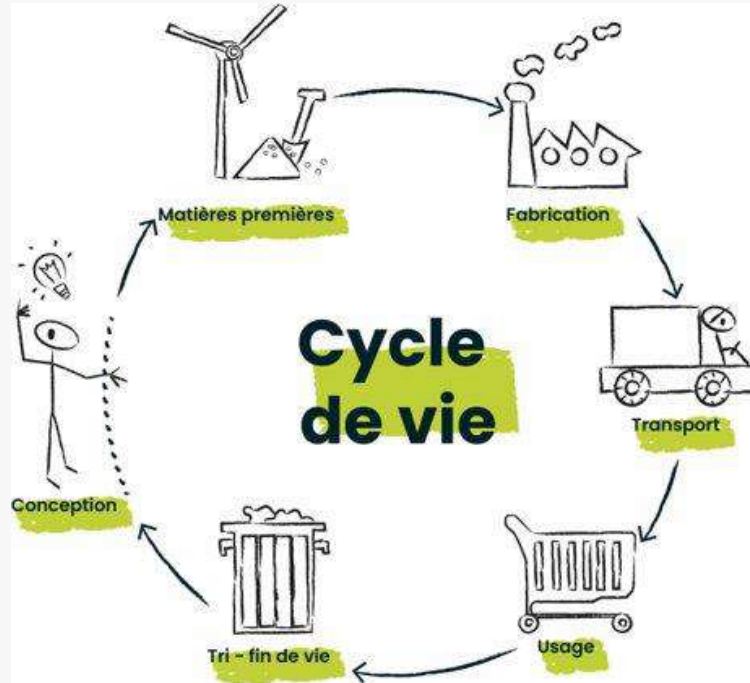
Cinq principes de l'éco-conception



# 1. Approche produit/organisme

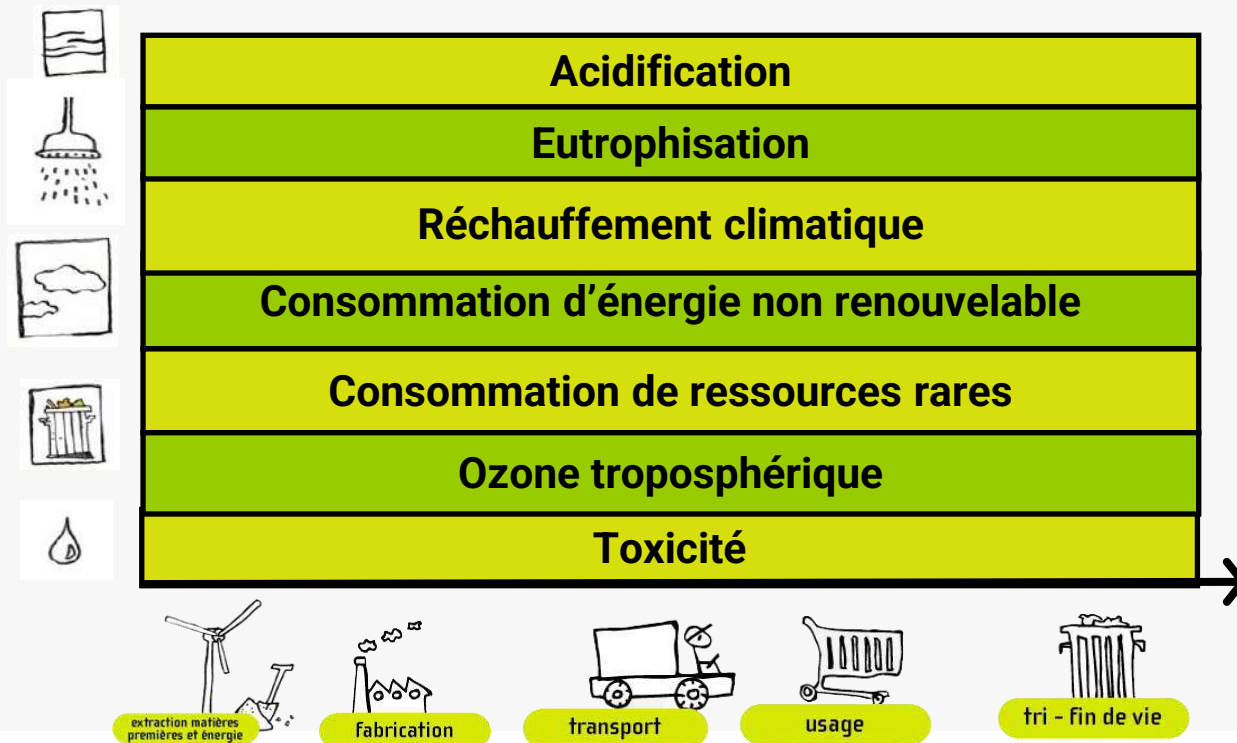


## 2. Approche multi-étapes



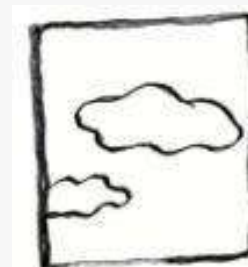
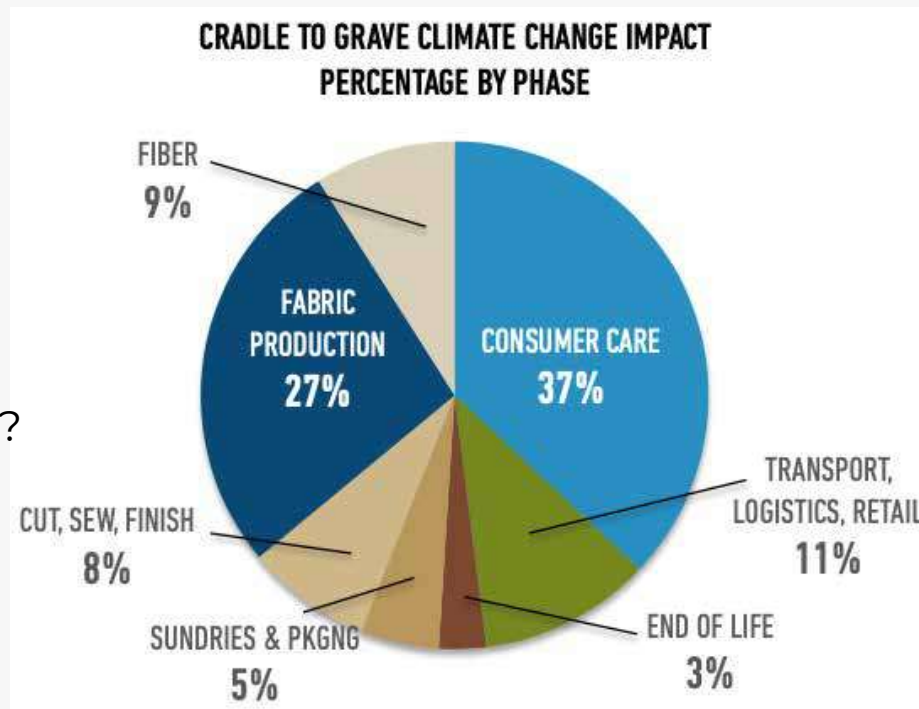


### 3. Approche multicritères



### 3. Approche multicritères

Source : Levi STRAUSS & CO. 2015



**Indicateur :  
Effet de Serre**

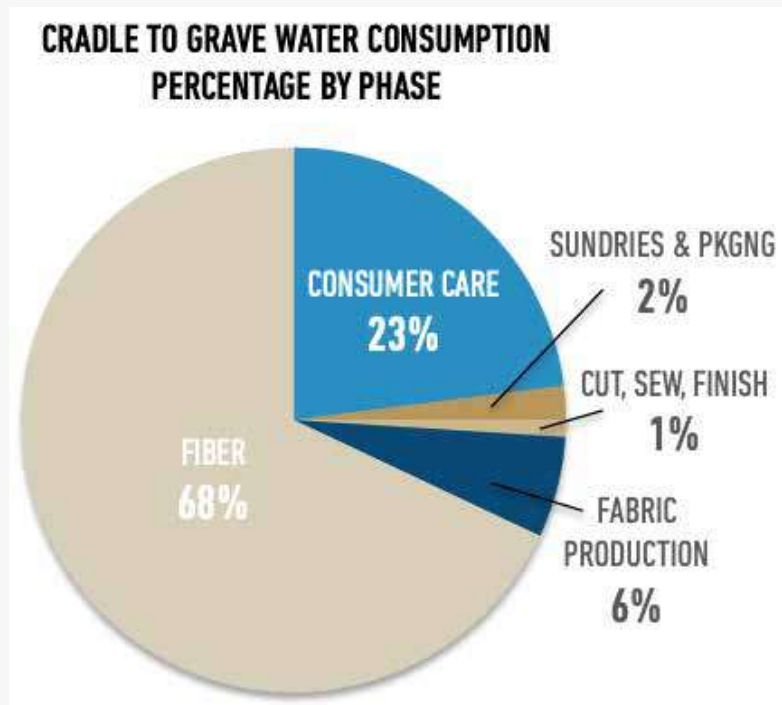
Réduire l'impact :  
Sur quel poste agir ?

**37% de l'impact est lié à l'entretien du jean**

### 3. Approche multicritères

Source : Levi STRAUSS & CO. 2015

Réduire l'impact :  
Sur quel poste agir ?

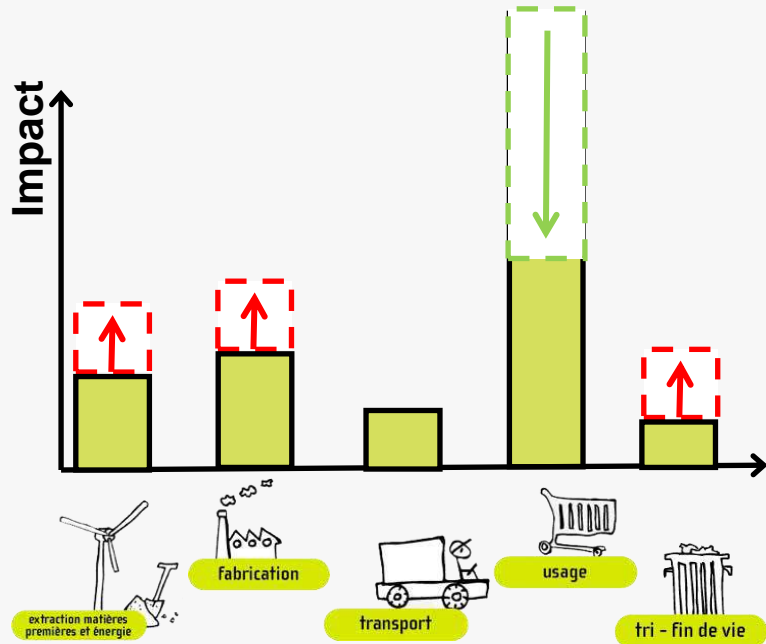


**Indicateur :  
Consommation  
d'eau**

**68% de l'impact est lié à la production de la fibre de coton**

# 4. Transferts d'impact

Anticiper & éviter : d'une étape du cycle de vie à l'autre



VS



# 4. Transferts d'impact

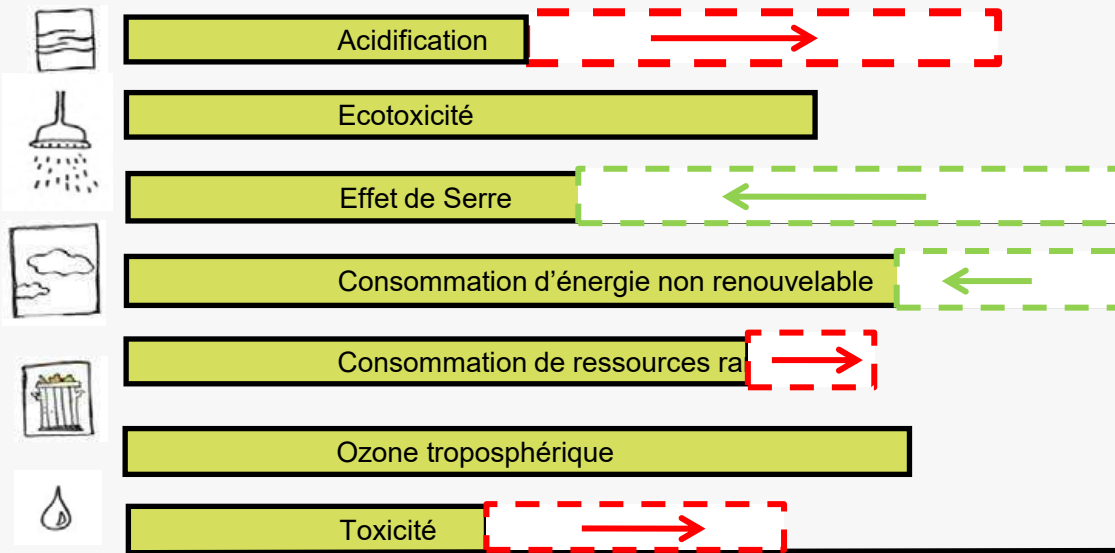
Anticiper & éviter : d'un critère d'impact à l'autre

Critères d'Impact sur l'ensemble du cycle de vie

Comparaison des 2 solutions



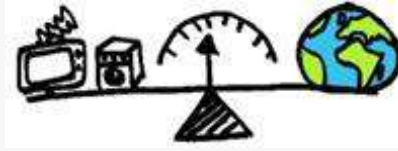
VS



# 5. Approche de compromis

Une question d'équilibre

## Contraintes



**Faisabilité Technique**  
Maitrise des **Coûts**

Amélioration **Effective** **Respect** du cahier  
sur l'environnement des charges Relation avec  
les sous-traitant

**TEMPS** de mise sur le marché

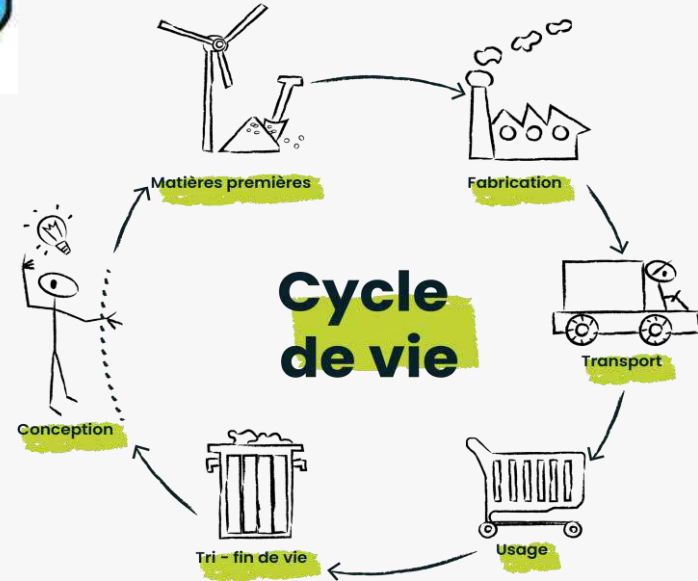
Des **Transferts** d'impact **contrôlés**

Maitrise des **RISQUES** de toutes sortes

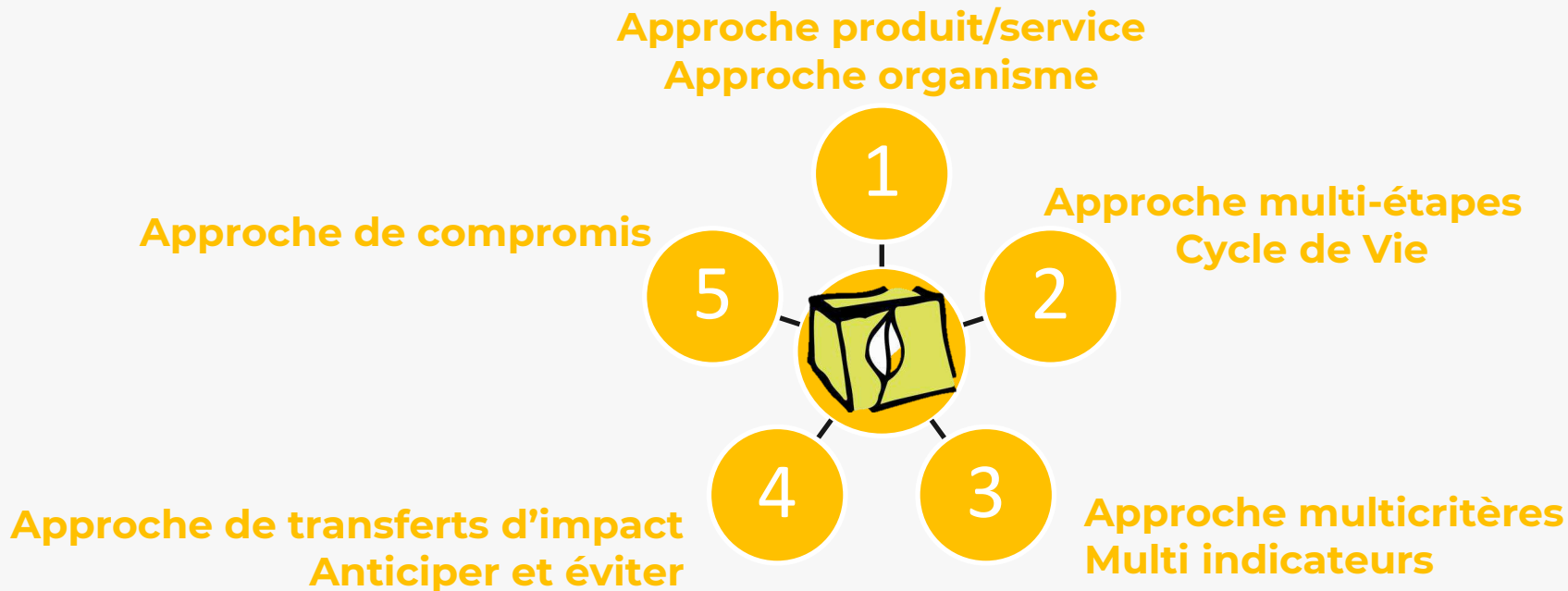
**Maturité** des technologies Attentes  
Cadence de fabrication **Clients**



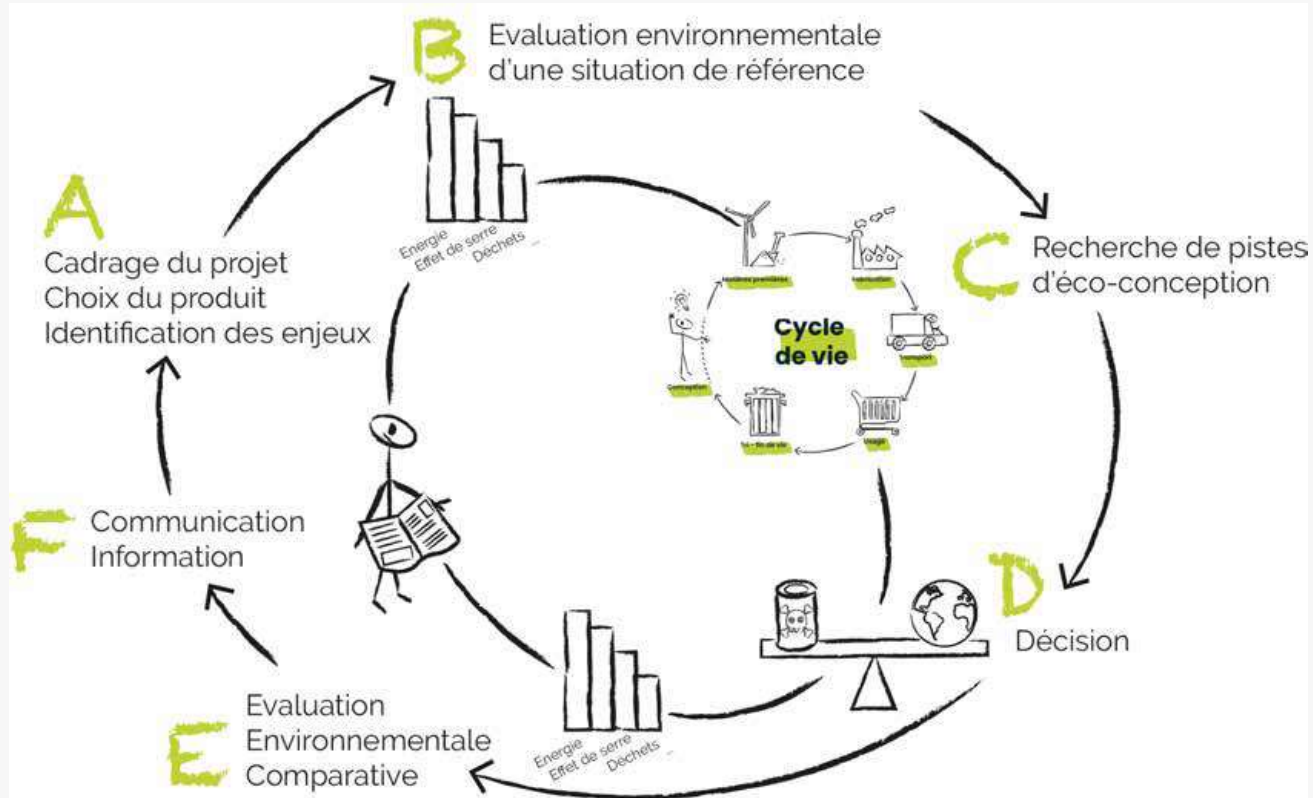
## Environnement



# À retenir



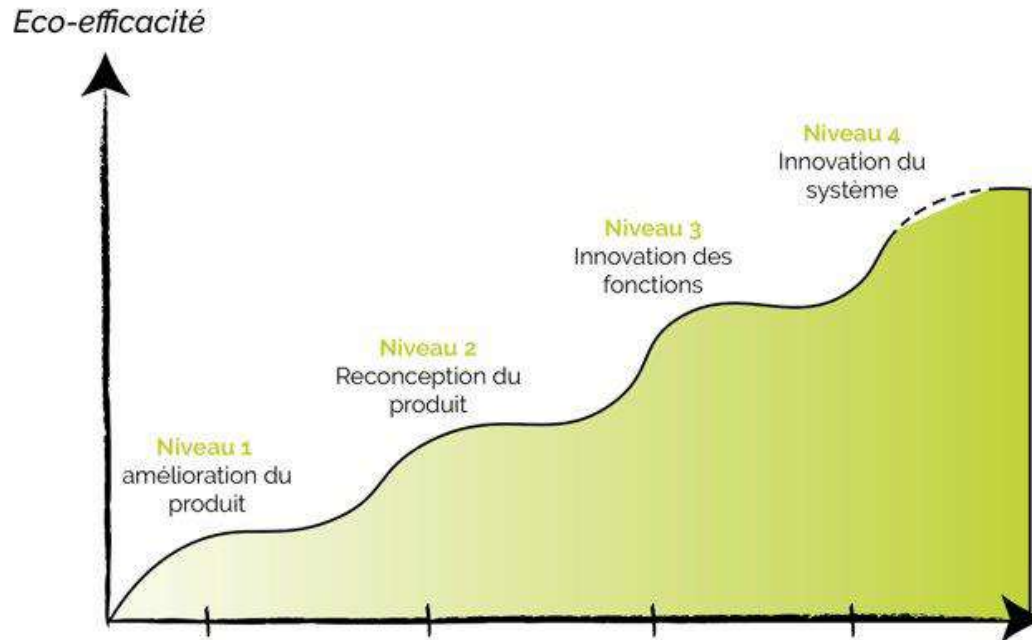
# Etapas de la démarche d'éco-conception





# Niveaux d'éco-conception

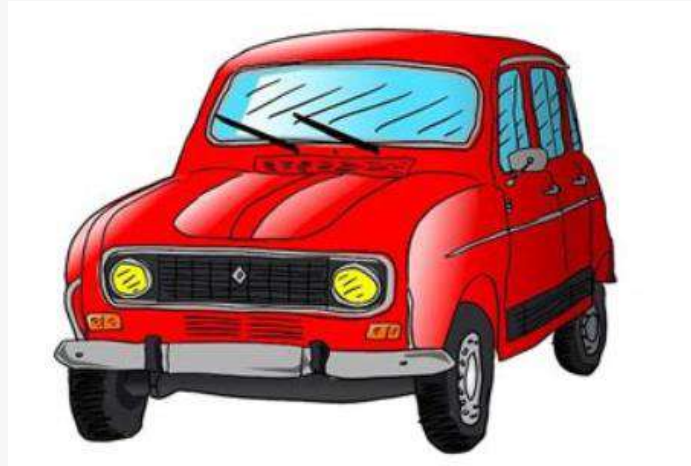
De l'éco-conception à l'éco-innovation



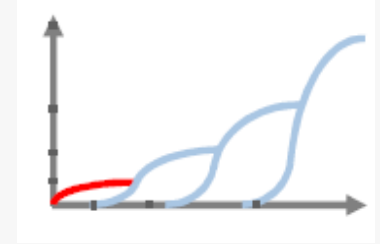
*Schéma des 4 niveaux d'éco-conception*

# Niveaux d'éco-conception

Exemple : comment éco-concevoir une voiture ?

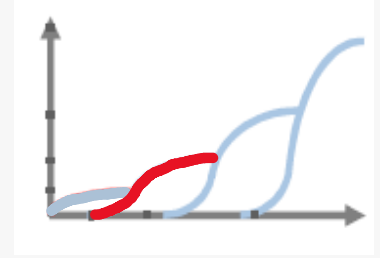


# Niveau 1 d'éco-conception



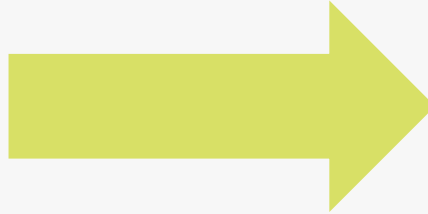
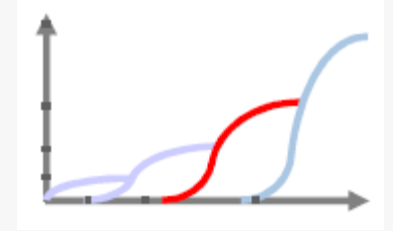
Alléger la carrosserie  
Améliorer le rendement par actualisation  
Nouvelle technologie de phares  
Supprimer des substances dangereuses

# Niveau 2 d'éco-conception



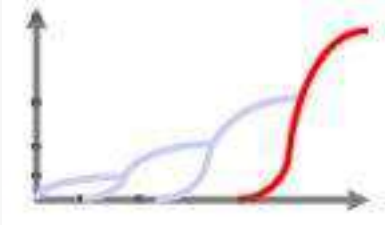
Optimisation de chaque sous système  
Re-conception de l'habitacle  
Réflexion sur les composants  
Multifonction  
Matière recyclées  
Démontage facilité

# Niveau 3 d'éco-conception



Motorisation électrique  
Technologie propre à la production

# Niveau 4 d'éco-conception



# Bénéfices de l'éco-conception

Source : Ademe, Baromètre  
Ecoconception 2020

2020 : 394 entreprises

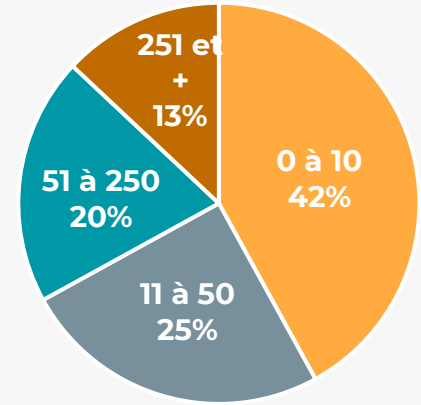
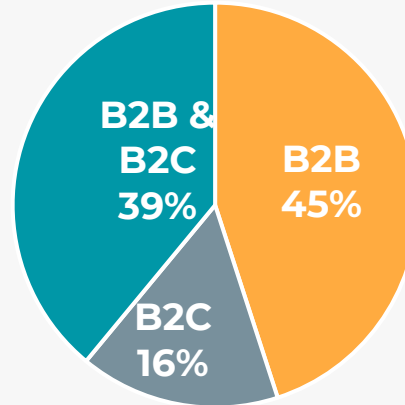
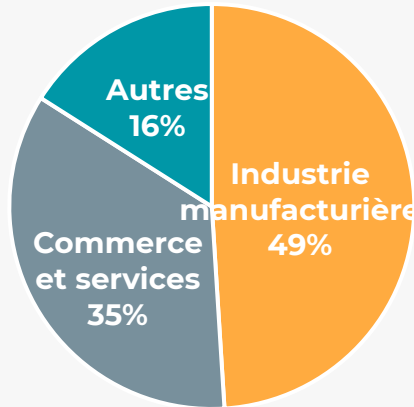
## Profils des entreprises

Secteur d'activité

Type de clientèle

Taille de l'entreprise

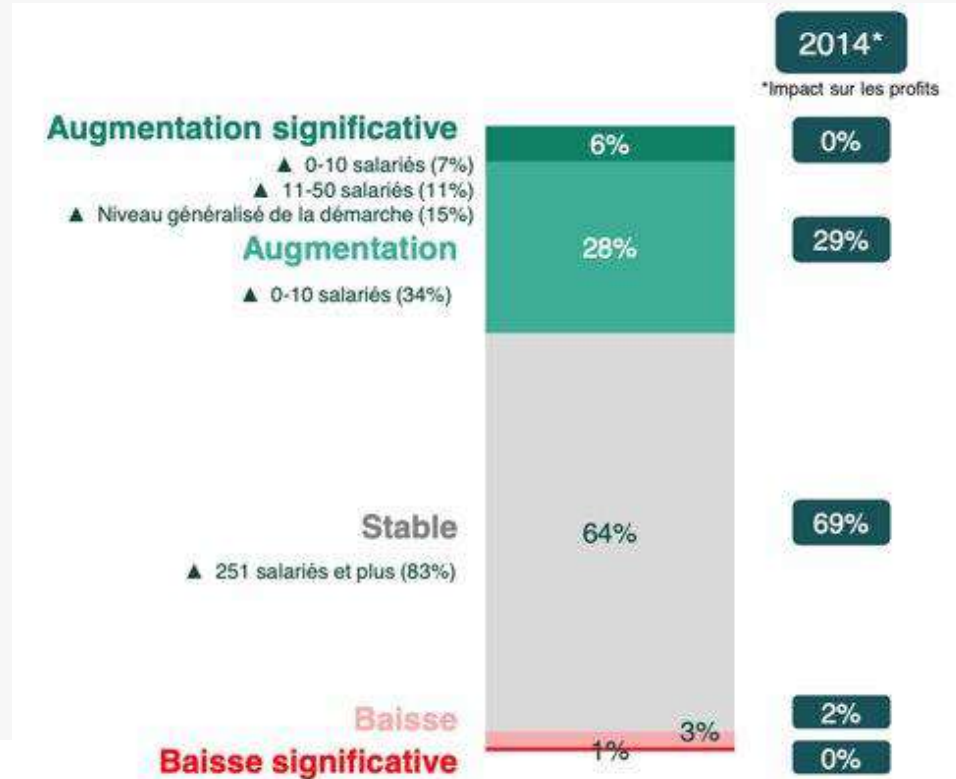
2020



# Bénéfices de l'éco-conception

Source : Ademe, Baromètre  
Ecoconception 2020

Volumes de ventes :

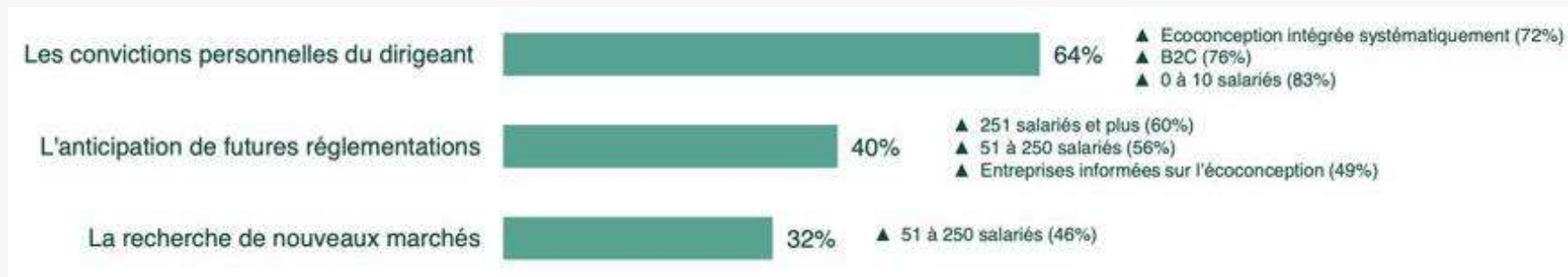


Eco-conception & Analyse de cycle de vie (ACV) – 23.11.23



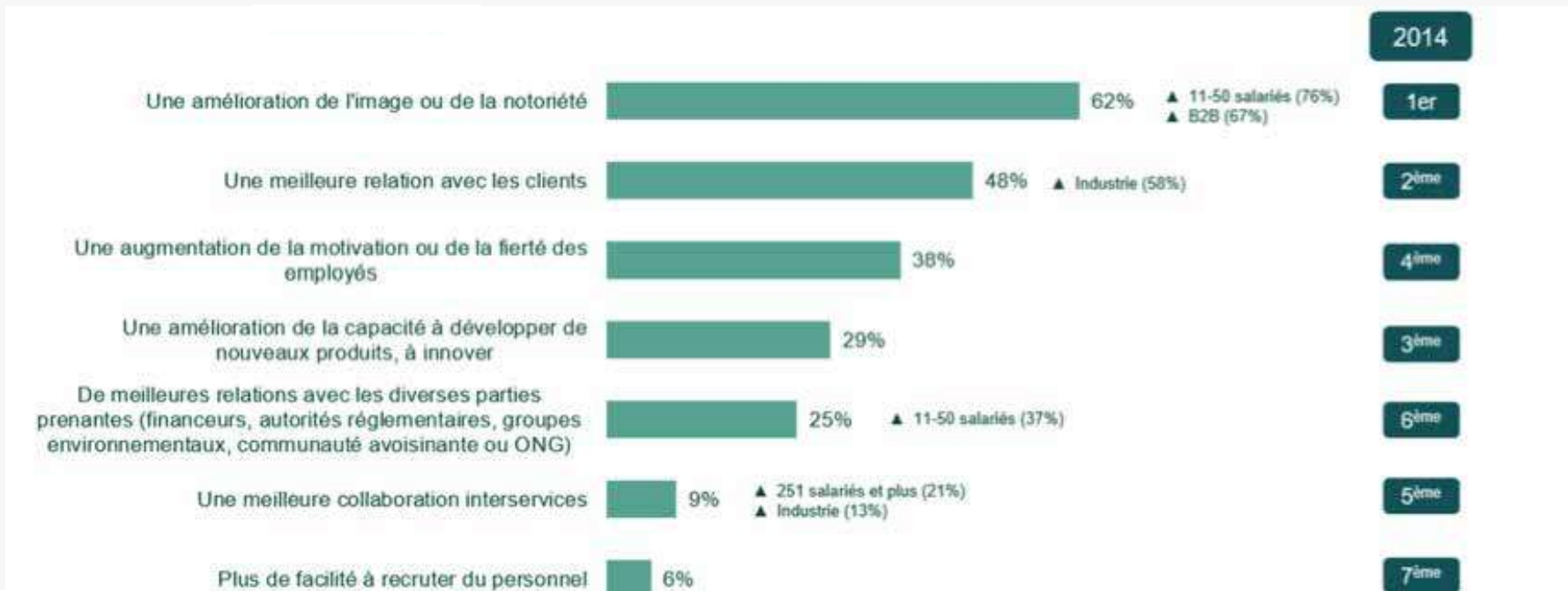
# Bénéfices de l'éco-conception

Les motivations :



# Bénéfices de l'éco-conception

Au-delà de l'économique ?



**Merci !**  
**Des questions ?**

# Démarche d'éco-conception dans le nautisme

Youn Aubry – Chargé d'Analyse de Cycle de Vie



# SOMMAIRE

- A – Contexte
- B – Mesurer nos impacts
- C – Rechercher des solutions
- D – Initier une démarche d'éco-conception
- E – Progresser
- F – Bilan





## Course au large

**Trimaran SVR-Lazartigue**

Tom Laperche et François Gabart

**IMOCA MACIF Santé prévoyance**

Charlie Dalin



## Construction

**Projets de course au large**

V&B Monbana Mayenne

IMOCA APIVIA

**Projets divers**



## Mobilité Maritime

**Faire voler les bateaux**

Sky City Foiler

Crew transport Vessel

Fast Foiling Ferry

**Utiliser le vent pour se déplacer**

VELA

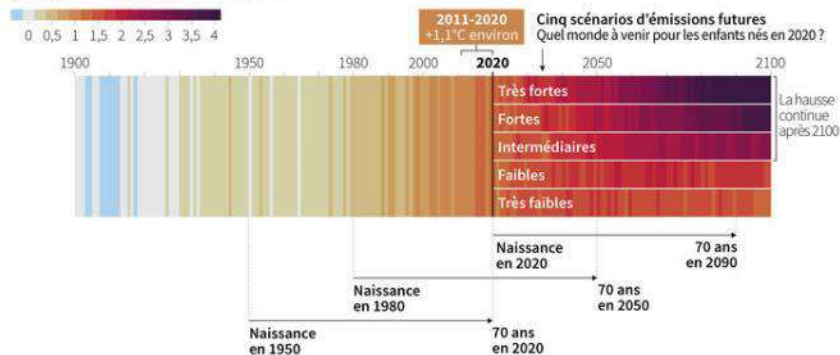


# CONTEXTE

## La hausse de la température déterminée par nos choix actuels

Les années actuellement les plus chaudes feront partie des plus froides dans 40 ans

Évolution de la température à la surface de la Terre par rapport aux niveaux de 1850-1900, en °C



Source : Giec, rapport de synthèse du sixième rapport d'évaluation

AFP



06. juillet 2021 - Communiqué de presse

Les Français pourraient perdre jusqu'à  
2 mois d'activité sportive par an dans  
un monde à +4°C



Environnement – les cinq graphiques à retenir du dernier rapport du GIEC. 23 mars 2023. Novethic.  
<https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/les-cinq-graphiques-a-retenir-du-dernier-rapport-du-giec-151417.html>

Les Français pourraient perdre jusqu'à 2 mois d'activité sportive par an dans un monde à +4°C. 06 juillet 2021. WWF.  
<https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/dereglement-climatique-sport>

# CONTEXTE

## Règles pour la filière

Récoltes de données classe Imoca

Engagements RSE courses

## Règles pour les grandes entreprises

Bilan carbone (décret BEGES)

Reporting de durabilité (CSRD)

## Enjeux discipline :

L'image du milieu est importante

## Engagement de l'entreprise

1. Entreprise à mission : justification activité et objectifs de développement durable.
2. Stratégie de réduction d'impacts.
3. Adoption d'une démarche d'éco-conception



# MESURER NOS IMPACTS

## ÉTABLIR DES RÉFÉRENCES

### BILAN CARBONE

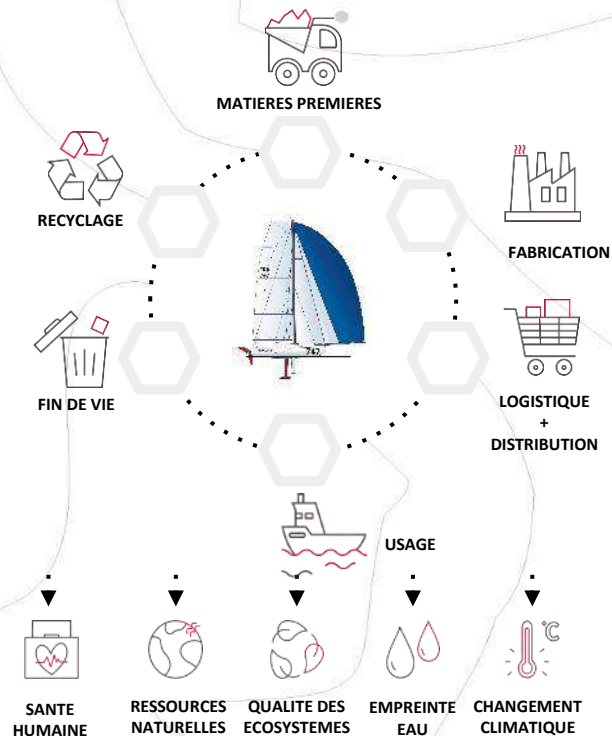
Bilan carbone 2021

### ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Récoltes d'informations

Analyse des impacts des fabrications

Recherche des grands postes d'impacts



# RECHERCHER DES SOLUTIONS

- Utiliser des tissus ou des résines alternatives
- Diminuer la part de déchets de production
- Réutiliser les moules, réduire leurs impacts
- Tester les solutions



# INITIER UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION

## Pré-étude d'éco-conception d'un mini 650

- Etude ACV d'un projet référent
- Essais matériaux
- Boucles de conception alternatives
- ACV comparative avec données spécifiques

Se faire accompagner et monter en compétence



# INITIER UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION

## Pré-étude d'éco-conception d'un mini 650

Résultats :

- Application d'un levier d'action (matériaux)
- Réduction d'impacts sur le changement climatique
- Compréhension de la démarche d'éco-conception



# INITIER UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION

## Cas d'étude : Pièce en composites

- Fibres naturelles
- Résine Biosourcée
- Âme PET
- Infusion sous vide

Impact sur le changement  
climatique supérieur

- Fibres de verre
- Résine Polyester
- Âme PVC
- Moulage contact voie humide

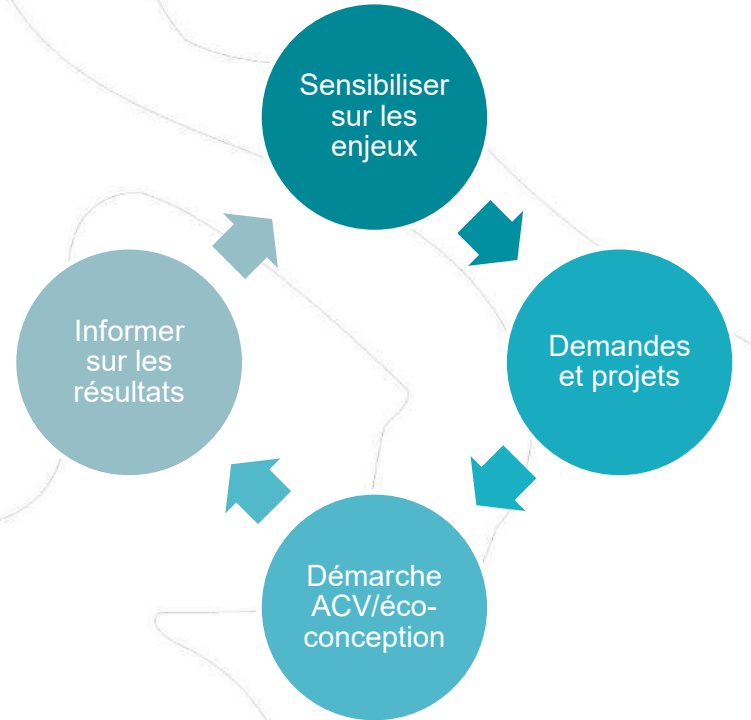
Impact sur le changement  
climatique inférieur

Conclusion : Résultats d'étude valables seulement dans un cas précis

# PROGRESSER

## EMBARQUER LES ÉQUIPES

- Sensibiliser toutes les parties prenantes : Fresque du climat, Formation 2 Tonnes, formations ACV...
- Informer sur les démarches en cours : objectifs et raison des démarches
- Communiquer les résultats : Echanger et se challenger sur les pistes d'amélioration



# PROGRESSER

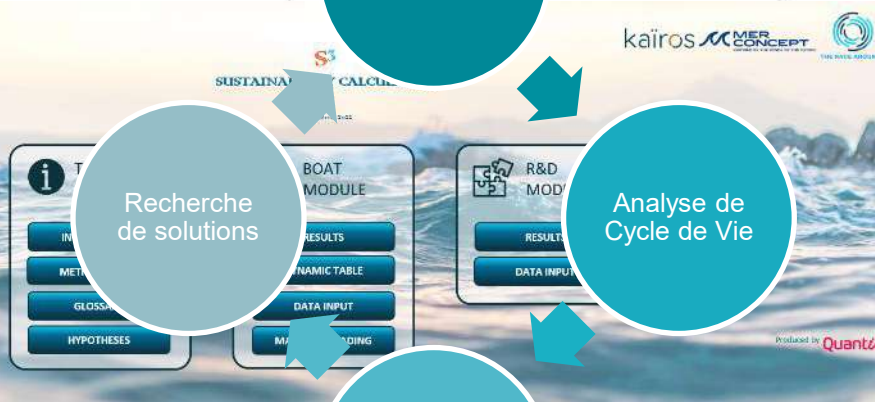
## AMÉLIORER LES MESURES

Mesures  
d'information

Recherche  
de solutions

Analyse de  
Cycle de Vie

Pistes  
d'actions



- Mesurer : Maîtriser l'ensemble des flux, challenger les fournisseurs sur les ACV
- Se doter d'un outil adapté : Analyse multicritère, maîtrise des données
- Produire des études d'ACV

Les pistes d'action se limitent au périmètre mesuré

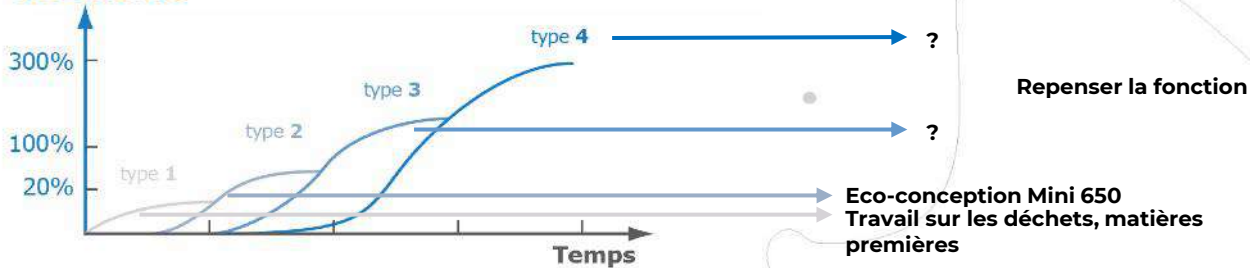
# PROGRESSER

## PENSER L'ÉCO-CONCEPTION À PLUSIEURS ÉCHELLES



4 niveaux d'éco-conception, à efficacité croissante

Eco-efficacité



Type 1 = composants

Type 2 = architecture

Type 3 = usage et technologie

Type 4 = stratégie d'entreprise

Rathnau Institute, 1996

4 niveaux d'éco-conception, à efficacité croissante (Rathnau Institute, 1996). 2010. gingko 21.  
<https://fr.slideshare.net/gingko/e-cparatage>



# PROGRESSER

## ECHANGER ET COOPÉRER

- Echanger des informations pour monter en compétences
- Travailler en équipe grâce au GIE



- Réalisation d'ACV
- Pistes d'éco-conception

# BILAN

- Une démarche actuelle de l'ordre « d'éco-réflexion »
- Les outils sont mis en place
- Un changement complexe nécessitant des compromis



# Des questions ?

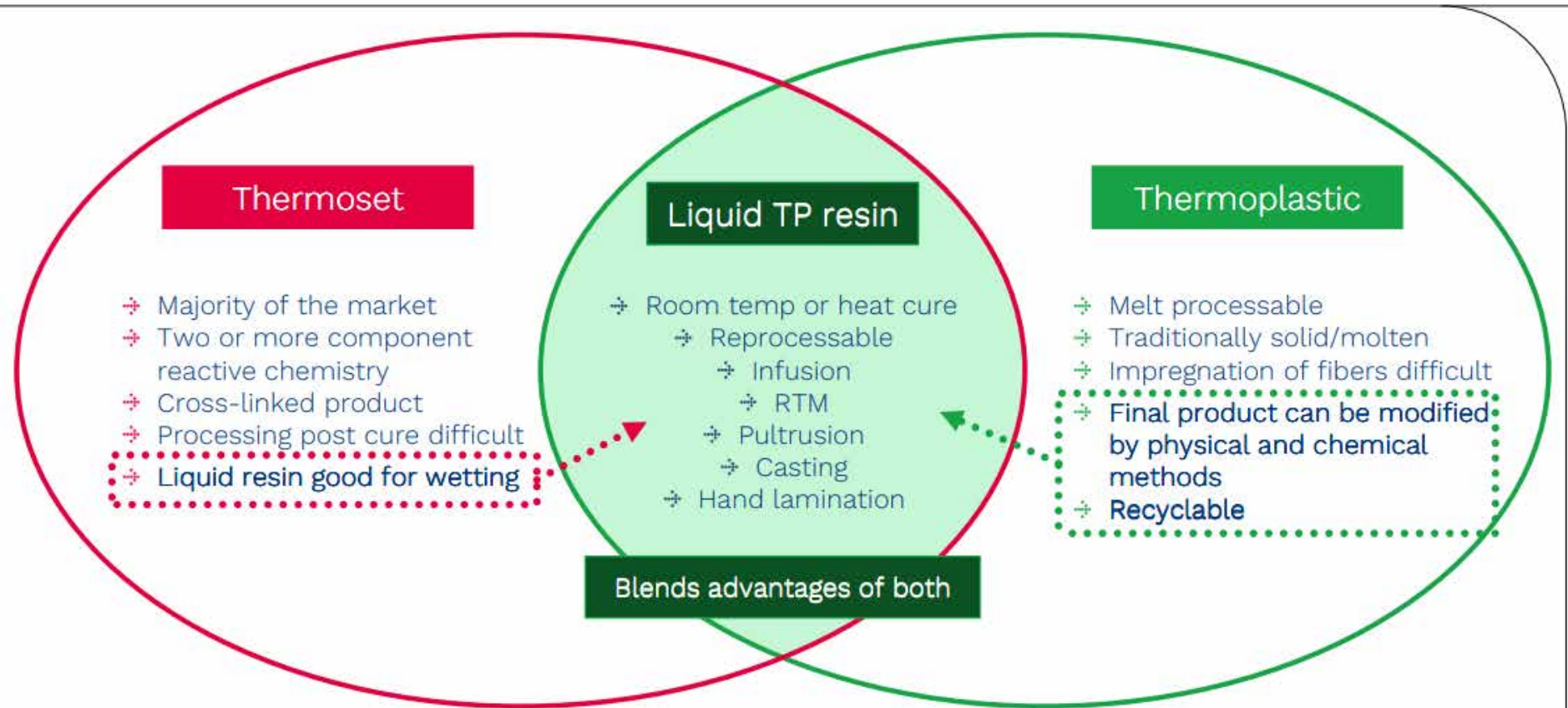
# ELIUM<sup>®</sup>, une innovation de rupture dans le monde des composites

Pierre GERARD, global head R&D

[pierre.gerard@arkema.com](mailto:pierre.gerard@arkema.com)

ARKEMA

# Liquid thermoplastic processes like thermoset for CFRTP composites



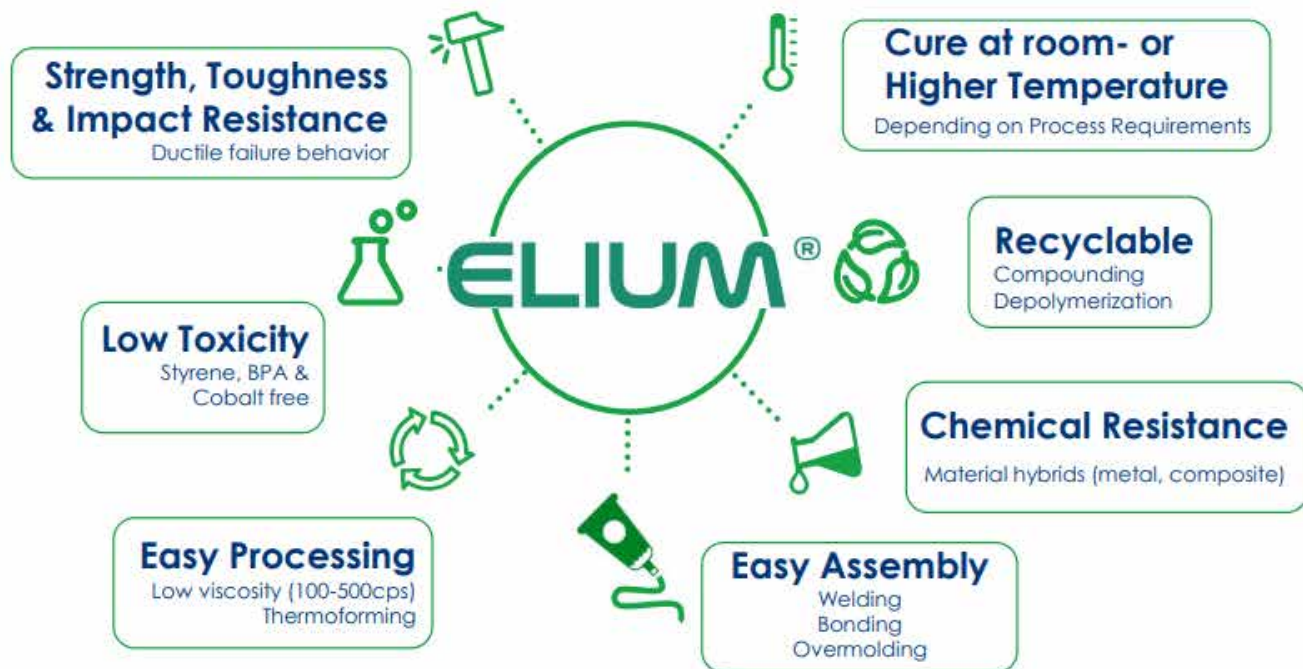


# Liquid reactive acrylic thermoplastic resin

➤ Elium® is a 2K liquid reactive thermoplastic resin (initiated by peroxides)

➤ In-situ radical polymerization of the resin in the mold with the presence of continuous fibers leads to a high molecular weight thermoplastic acrylic copolymer

➤ Redox system for “cold” radical polymerization



# Manufacturing processes

## Infusion

Mid & large parts  
Thin and thick  
walls  
Productivity

*Wind  
Marine*



## Casting

Perfect aspect  
Recyclability

*Cladding  
Sanitary  
Industrial  
applications*



## Pultrusion

High performance  
Cost

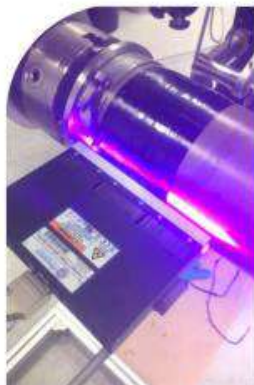
*Building  
Wind*



## Filament Winding

High performance  
UV initiation

*Pressure vessel  
Tanks  
Pipes*



## C-RTM & Compression

High performance  
Highly reactive  
process

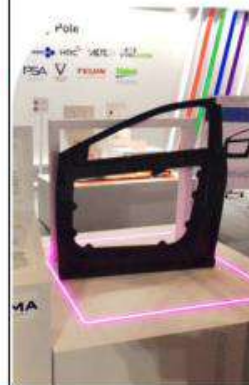
*Automotive*



## SMC

Semi-structural  
High filler content

*Automotive  
Aero  
Appliances*





# Elium® : a breakthrough innovation in recyclable composite materials markets and value proposition

## Wind energy

Productivity improvement, design for recycling, processing at room temperature – energy saving, high performance, weight saving.



Elium® the liquid thermoplastic resin designed for recycling

a unique solution for manufacturing composite parts using the same processes as those for thermoset liquid resin, and include the major particularity of design for recycling



Bénéteau  
First 44e

## Marine

Design for recycling, high performance, Styrene free and cobalt salt free

## Building & Construction - concrete FRP rebars

Corrosion resistance, bendability, massive productivity improvement and supply chain flexibility, high performance, design for recycling



## H2 storage for e-mobility

Productivity improvement and energy saving, design for recycling



LALOU  
MULTI



## 100% recyclable wind blades paves the transition to a circular economy

Full scale blade testing of glass thermoplastic blade



Sept '20  
ZEBRA project  
launched

2022

2023

2024+



Worlds largest glass thermoplastic blade built



Glass thermoplastic blade cut up for circular recycling demonstration



Worlds largest carbon thermoplastic blade built

→ WP5 – Post-industrial wastes


(manufacturing wastes from

VARI process) **LM WIND POWER**  **suez**  
a GE Renewable Energy business

- Consumables (vacuum foil, peel-ply, release film, infusion net, tubes, ...) fully thermoplastic (PE/PP, PA) all “contaminated” with Elium® resin (average ~ 50wt%)
- Elium® resin + Methacrylate adhesive + dust
- Glass fiber (dry)
- LE + TE cut offs (composite)



→ WP5 – Post-consumer wastes

 **suez** (end-of-life)



- Materials involved:
  - Composites (GF/CF – Elium®)
  - Methacrylate adhesives
  - Balsa wood / PET foam core
  - GC/paints



→ WP5 – Cutting and 1<sup>st</sup> shredding of ZEBRA's blade



- Cutting with hydraulic circular saw
- Pieces of 4m average length



- Loading / Unloading
- 1 truck to transport all parts



- Blade shredding at 0 – 250 mm
- 2 containers, 30 m<sup>3</sup> capacity



→ WP5 – foam sorting : flotation separation



• 1<sup>st</sup> step : Put shredded blade in water

• 2<sup>nd</sup> step : Collect floating materials (foam & wood)

• 3<sup>rd</sup> step : Collect sinking materials (glass fiber & resin)



• 1,5 containers of shredded blade (few pollution with foam & wood)  
• 5 big bags of foam and wood (outside Zebra's scope)





→ WP5 – 2<sup>nd</sup> shredding

- 2<sup>nd</sup> shredding : 0 – 15 mm



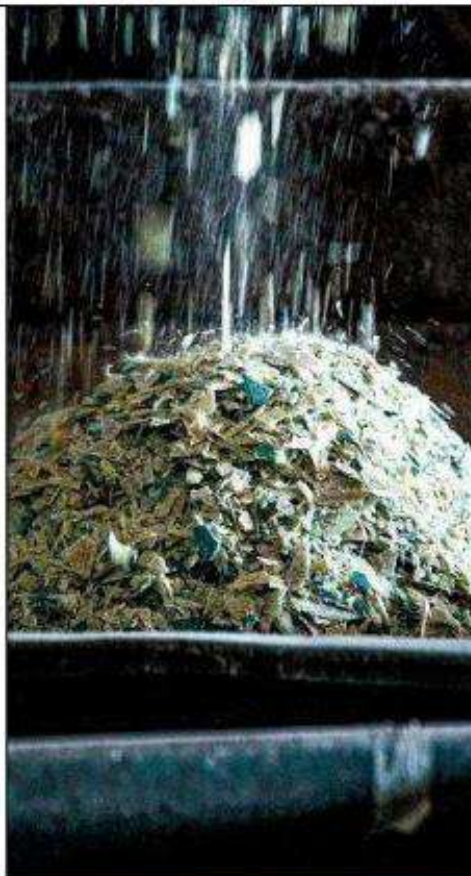
- 94,8% of purity  
(composite GF/Elium® resin)



## CHEMICAL RECYCLING

- Unique property of Elium® resins to be **de-polymerized** thanks to a thermolysis process
- Separation of resin and fiber reinforcement and collection of the original monomer of the resin
- Possibility to reuse the monomer to create the new Elium® resin in a **closed loop** recycling process
- Better LCA profile (cradle to gate)

**ELIUM**®  
RNEW



## MECHANICAL RECYCLING

- Grinding and blending with a virgin or recycled thermoplastic (PMMA, ABS, PVC, ...)
- Reuse in deposition or extrusion or compression processes
- **Enhanced properties** compared to host matrix



**Door handle:** recycled compound of 50% r-ABS and 50% composite CF of GF/Elium®



3D printing



## — THERMAL RESHAPING FOR REUSE OF ELIUM® COMPOSITES

- Thermoforming thermoplastic spar cap (CSM & NREL)
- From blade to post (TU Delft)
- Flooring, building siding, or recreational goods



Fig. 10. A prototypical skateboard fabricated in part by thermoforming an Elium glass fiber and panel as reinforcement.

**Demonstrating re-use of thermoplastic composites originating from wind turbine blades**

Karel Brees  
Integrated Product Design  
TU Delft, Delft, The Netherlands

Fusion

## — HOT COMPRESSION OF GRINDED BLADE

THERMOSAIC process by



- Thermo-mechanical process to make **composite panels**
- Fully **thermo-formable** by thermo-stamping process



## — COMPOUNDING + INJECTION MOLDING

- Compounding with thermoplastic such as PMMA, ABS
- Compound 60% ABS + 40% Elium® composite  
The resultant material is then transformed in **pellets**
- Pellets are processed by **standard injection or 3D printing**



**canoe**



Tests on composite panels with NCF Glass Fiber made by infusion

- Elium® resin
- Recycled Elium® resin by depolymerisation
- Same viscosity and reactivity of liquid resins
- Same molar mass and Tg of solid resins

→ **Goal of Sustainable Development**

GWP Impact (cradle to gate) in Kg CO2 / Kg Elium®

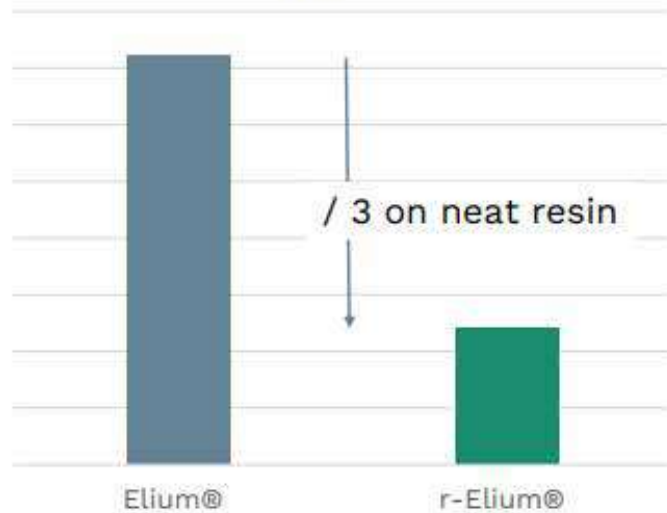
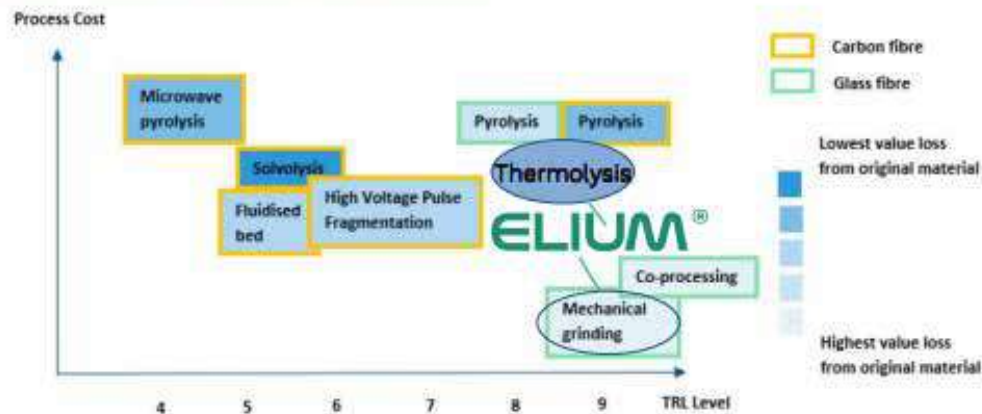


Figure 2: Comparison of Recycling and Recovery Technologies



[1] Accelerating Wind Turbine Blade Circularity, CEFIC WindEurope Eucia May2020



→ Thermolysis in a platform pilot reactor (capacity of 50 kg/h)



## → Glass Fibers



- **Re-melting** – thermal recycling unit for waste glass fibers
- After processing (shredder, burning chamber and milling), the recycled glass powder is free of organic particles and refed as raw material into the glass production process on-site (achieving a closed production loop)
- **TP (thermoplastic) compounding**
- **Sheet Molding Compound**
- **Bulk Molding Compound**



## → Carbon Fibers

- **Recycled and sorted CF**
- **rCF veil or mat**



rCF reinforced Elium thermoplastic automotive door panel prototype (Recotrans project – courtesy of Gestamp)

- **Tape technology (highly aligned discontinuous fiber composites) i.e. Hyperdif (Bristol) or Nova Carbon**



# Chemical recycling of composite molds from Multi 50



Elium-based composite mold for link arm : single use !



CFRTP: Aerodynamics fairing & roof with recycled Elium



LALOU  
MULTI



**BILAN  
CARBONE**

Synthèse 2023

**BILAN  
CARBONE**

Synthèse 2023

## L'ÉLIUM<sup>®</sup> FACE À L'ÉPOXY LE COMPARATIF

	ELIUM <sup>®</sup>	EPOXY
PRODUCTION D'1 KG DE RÉSINE	4,86 kg DE CO <sub>2</sub>	6,35 kg DE CO <sub>2</sub>
ÉNERGIE NÉCESSAIRE POUR 1 KG DE MATIÈRE PRODUITE	102 MJ PAR KG	120 MJ PAR KG
ÉNERGIE NÉCESSAIRE POUR 1 KG DE MATIÈRE MODÈLE	16,9 MJ PAR KG	24,1 MJ PAR KG
BILAN CARBONE DE LA CONSTRUCTION D'UN CLASSIC <sup>®</sup>	86 t DE CO <sub>2</sub>	100 t DE CO <sub>2</sub>

\* À TITRE DE REPRÉSENTATION

**IMPACT ÉCARTÉ DE 25 %  
DE L'EMPREINTE CARBONE\***

### RÉSINE ELIUM<sup>®</sup> VS ÉPOXY

COMPARAISON DE LA CONSOMMATION DE CO<sub>2</sub> COME DE LA CONSTRUCTION\*

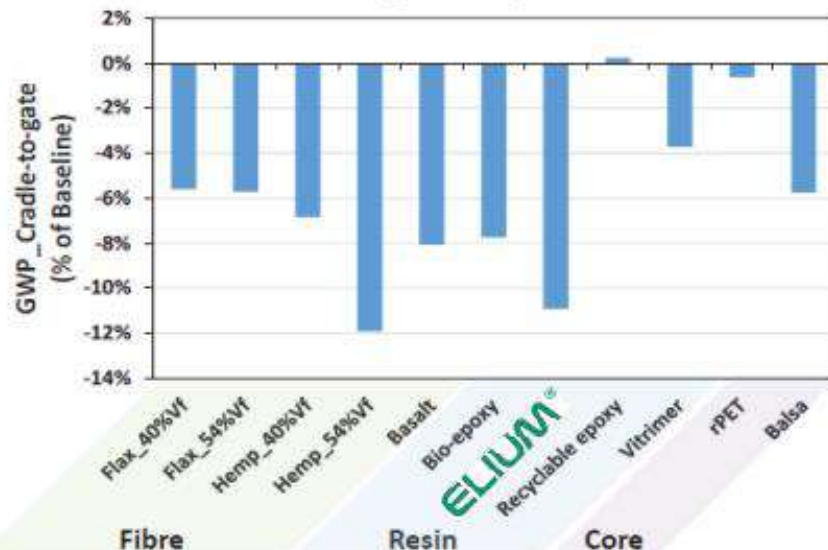
ELIUM <sup>®</sup>	EPOXY
À 200 000 t/an et 1000 MJ/kg	À 200 000 t/an et 1000 MJ/kg
40 000 t/an et 1000 MJ/kg	40 000 t/an et 1000 MJ/kg
10 000 t/an et 1000 MJ/kg	10 000 t/an et 1000 MJ/kg

\* Pour chaque produit, les données sont basées sur les données de production et de consommation.

«L'industrie du nautisme fait face de nos jours aux nouveaux défis environnementaux, en choisissant d'innover et de contribuer à l'amélioration des matériaux de construction et des produits avec la résine recyclable Elium, permettant de recycler jusqu'à 70% d'un bateau sans dépasser de 10% de poids. Lalou Multi s'engage vers une démarche plus respectueuse de notre environnement et de la pratique du sport.»

## SusWIND: Innovative design and lifecycle assessment of wind turbine rotor blades using sustainable materials: A feasibility study

GWP\_Cradle-to-gate



**Merci !**  
**Des questions ?**

**PAUSE**  
-  
**20 MIN**





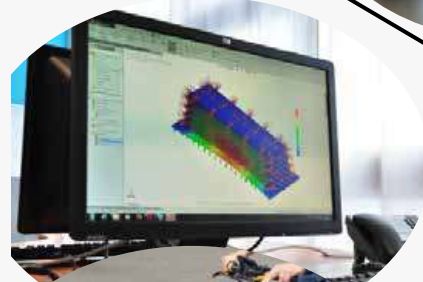
Caractérisation des matériaux



Appui technique à l'éco-conception



Eco-conception & Analyse de cycle de vie (ACV) – 23.11.23



Développement de produit et procédé





# Introduction générale à l'ACV

Olivier KERBRAT  
Professeur des universités  
Ecole normale supérieure de Rennes  
Institut de Physique de Rennes

[Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr](mailto:Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr) / 02.99.05.52.75



Université  
de Rennes



# Sommaire de l'exposé

Principe  
général de  
l'ACV

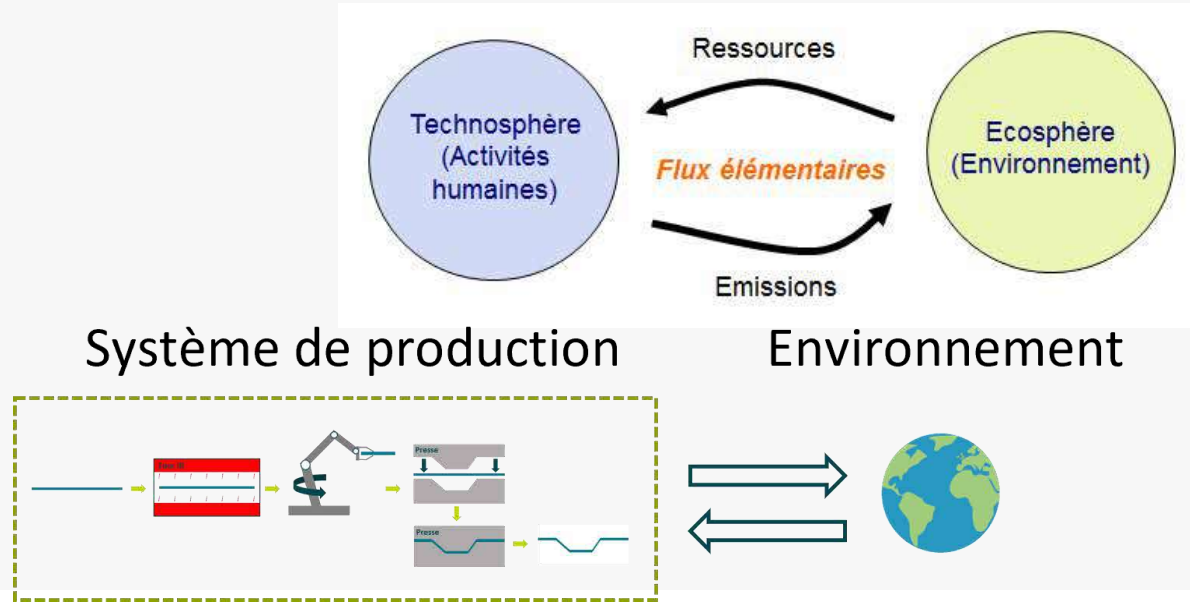
Les 4 étapes  
de l'ACV

Forces et  
faiblesses de  
l'ACV

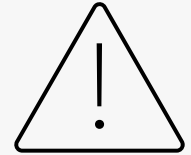
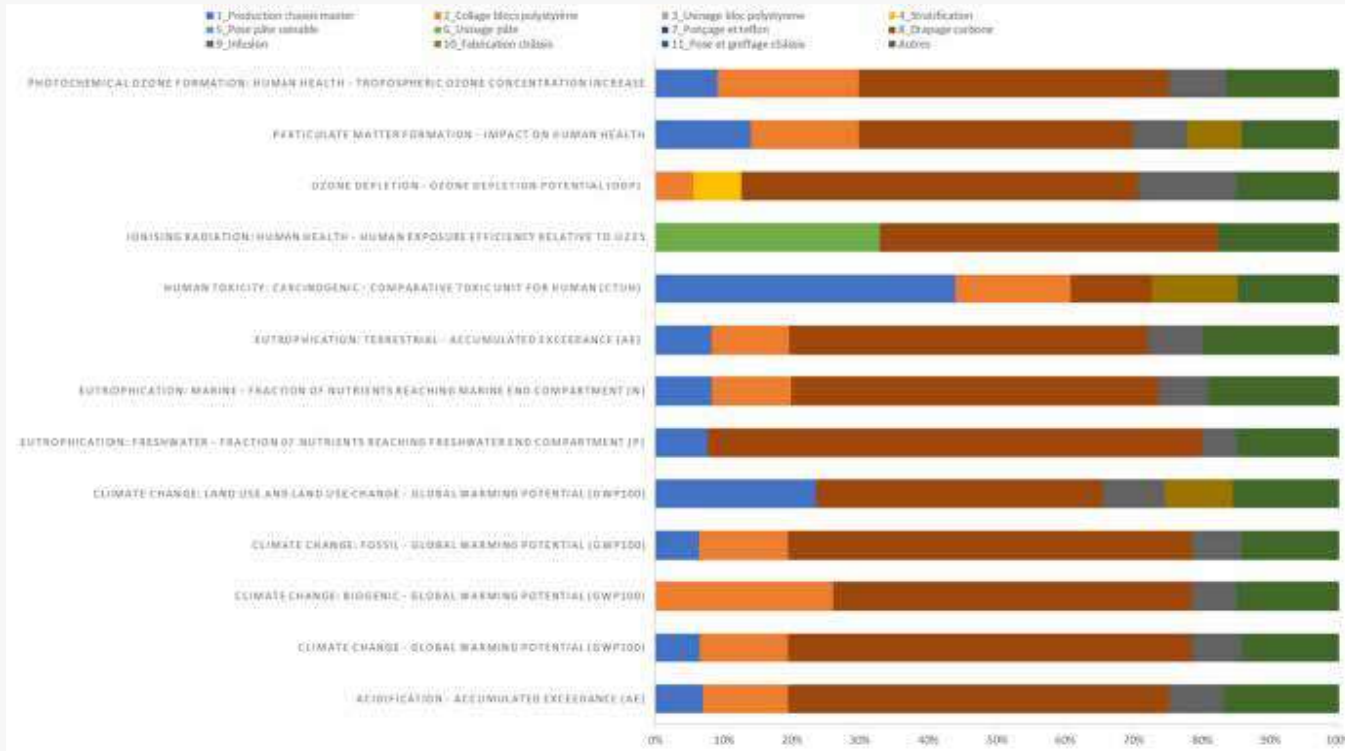
Exemples  
d'applications  
en recherche  
sur les  
composites

# Principe général

Une ACV consiste à définir le système de produit, à déterminer tous les échanges (**flux élémentaires**) entre la **technosphère** et **l'écosphère**



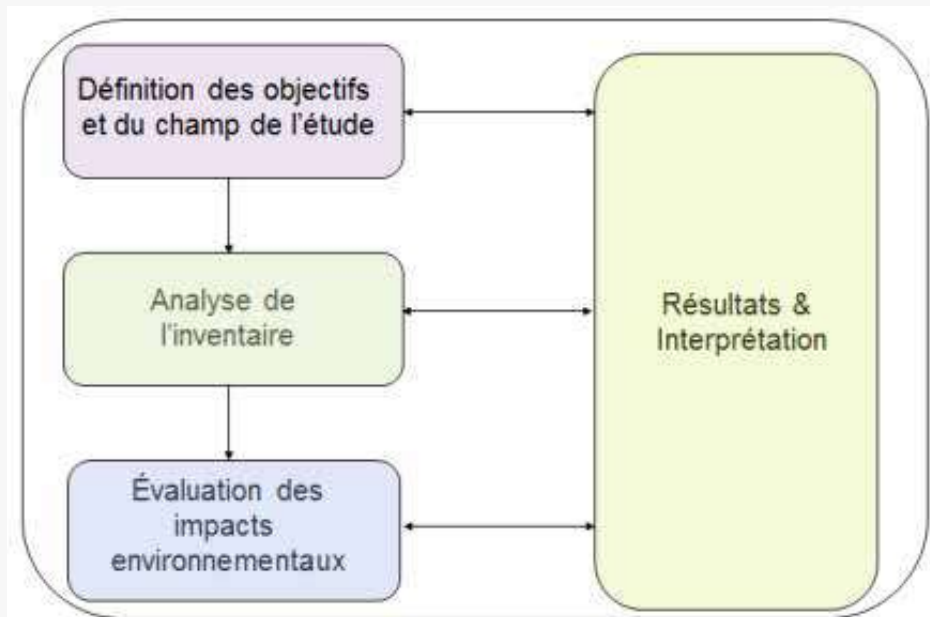
# Exemple de résultats d'ACV



**Nécessite de bien définir le système observé et le périmètre de l'étude**

Thèse Lucas JACQUET, ENS Rennes

# Cadre général normalisé et grands principes de l'ACV



Approche cycle de vie

Approche multicritère

Maitrise du transfert d'impact

Principe de fonctionnalité

# Sommaire de l'exposé

Principe  
général de  
l'ACV

Les 4 étapes  
de l'ACV

Forces et  
faiblesses de  
l'ACV

Exemples  
d'applications  
en recherche  
sur les  
composites

# Etape 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

ISO 14044 : « La performance quantifiée d'un système de produits destinés à être utilisés comme unité de référence dans une ACV » = *Nécessité de raisonner par rapport à une fonction*

Quoi ? Pourquoi ? Pour qui ? Qui ?

## Quel est le but de l'étude ?

Intégration de notions environnementales dans les choix, image, ...

## Pour quelle application est-elle faite ?

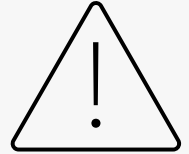
Amélioration, aide à la décision, communication, marketing, ...

## Pour quel public ?

Grand public, autorités, interne, ...

## Quels sont les acteurs ?

Mandataire, exécutant de l'ACV, comité de direction, groupe de pression, ...



**L'ACV est « goal-dependent »**



# Etape 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

## Unité fonctionnelle :

« Assurer une fonction donnée (qui s'inscrit dans le temps) en donnant satisfaction au consommateur (ou à l'utilisateur), c'est-à-dire en répondant à certaines conditions. »

« Tranche de résultat », **sans préjuger des produits (ni de leur nature, ni de leur quantité)** à mettre en œuvre pour arriver à cette tranche de résultat

## Définition du flux de référence :

Quantité de produit nécessaire pour remplir la fonction pour l'unité fonctionnelle définie

## Exemples d'unités fonctionnelles :

- ~~UF (course) : Le cycle de vie d'un IMOCA assemblé et prêt à naviguer, construit en France, hors phase d'utilisation et fin de vie.~~
- UF (Bateau transport) : Transporter une tonne sur un km pendant 1 an à une vitesse de 10 nœuds



Quoi ?	Combien ?	Comment ?	Durée de vie
Finir des courses ( $c$ )	1 course	Avec une vitesse moyenne cible $v_{cibmoy}(c)$	Sur une campagne de course $d(c)$

# Etape 1 : Exemple d'unité fonctionnelle

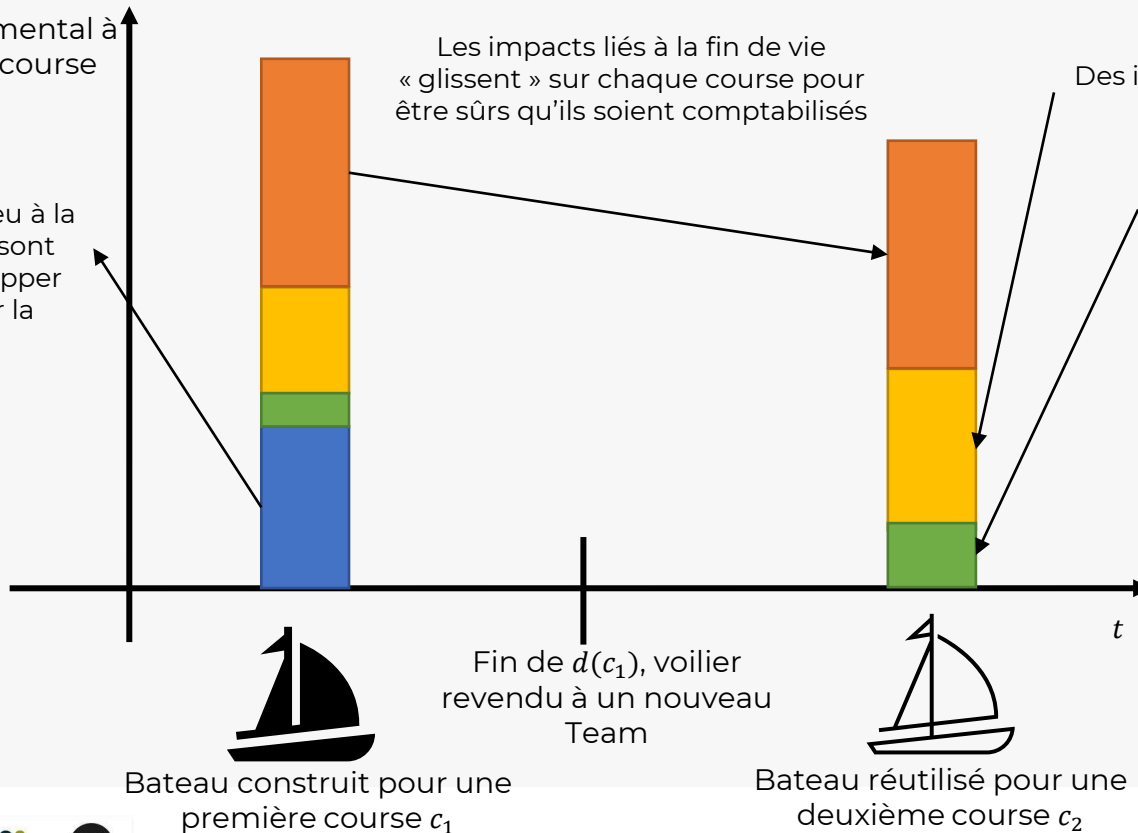
Impact environnemental à considérer pour la course

Des impacts ont lieu à la fabrication et ne sont imputés qu'au skipper qui l'utilise pour la première fois

Les impacts liés à la fin de vie « glissent » sur chaque course pour être sûrs qu'ils soient comptabilisés

Des impacts ont lieu lors de la course en fonction de sa durée

Des refits ont lieu sur le bateau pour le faire participer à  $c_2$

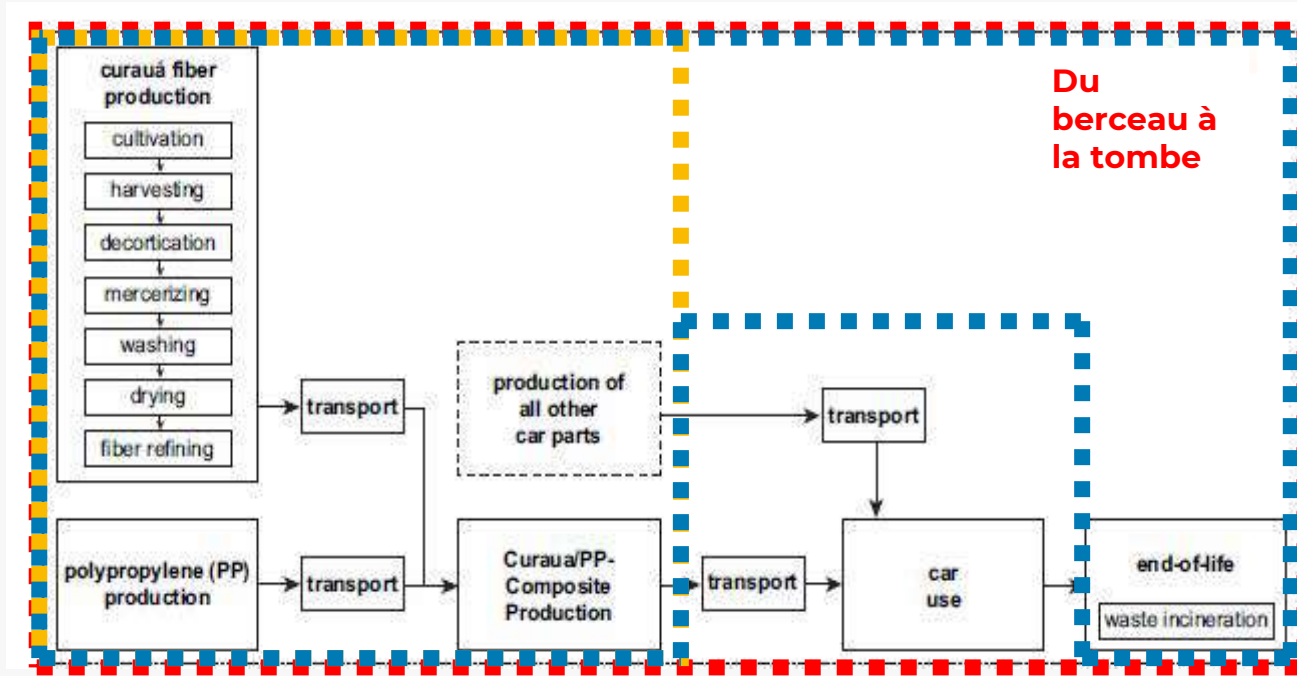


- Impacts liés à la fin de vie
- Impacts liés à l'utilisation
- Impacts liés aux refits
- Impacts liés à la fab

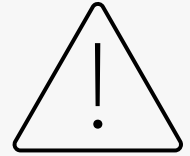
Thèse Lucas JACQUET, ENS Rennes

# Etape 1 : Frontières du système

Du berceau au produit



Du berceau à la tombe



A fixer avec le donneur d'ordre  
Limites parfois floues (exemple du recyclage)

Du berceau à la tombe (réduit)

Antoine Le Duigou, UBS

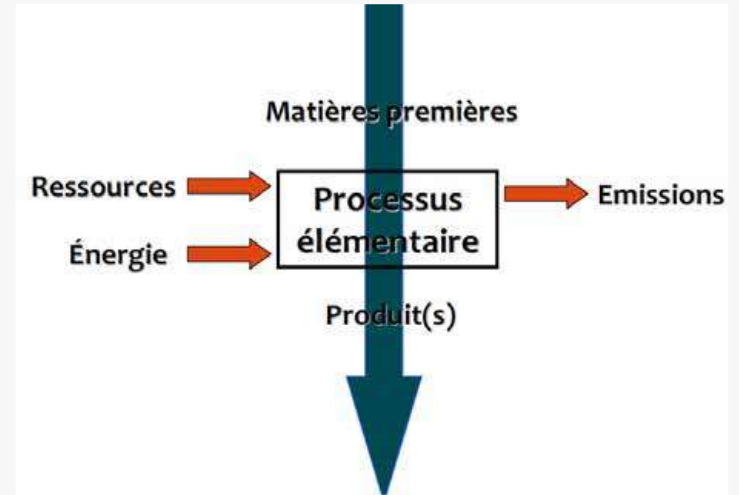
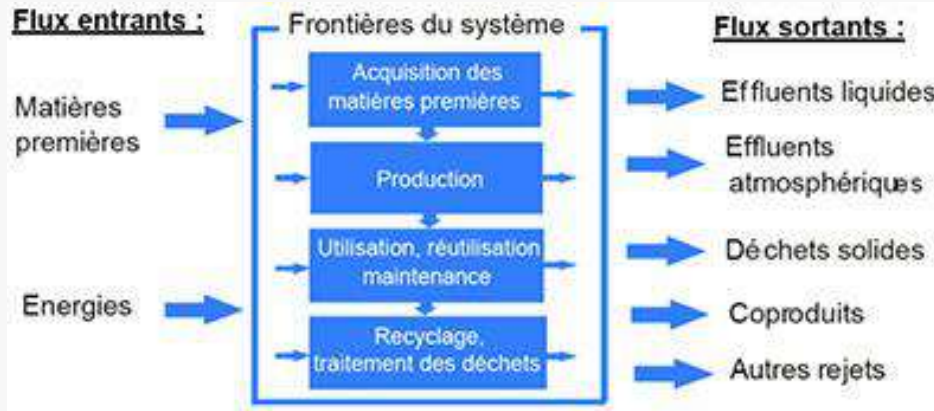
# Etape 2 : Analyse de l'inventaire

ISO 14044 : « Identification et quantification des flux de matière et d'énergie entrant et sortant aux frontières du systèmes » = *Collecte des données*

Inventaire des **extractions** et **émissions** qui traversent les limites du système

## Arbre des processus :

- Les processus unitaires sont reliés par des **flux de produits intermédiaires**
- Les processus unitaires sont reliés à l'environnement par des **flux élémentaires** entrants et sortants

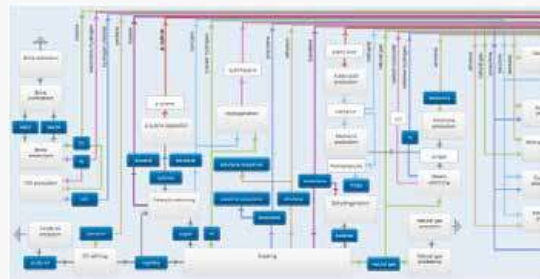


## Etape 2 : Données primaires / secondaires

Données **primaires/spécifiques** : mesure directe

- La consommation au niveau du processus ou de l'usine
- Les factures et les variations des stocks/inventaires de matières consommables
- Les relevés des émissions (quantités et concentrations des émissions de gaz de combustion et des rejets d'eaux résiduaires)
- La composition des produits et des déchets
- Les services/unités d'achat et de vente

Données **secondaires** : bibliographie, bases de données sur l'ICV, de rapports d'associations professionnelles, de statistiques gouvernementales,



*Antoine Le Duigou, UBS*

## Etape 2 : Règles de coupure

Règles de simplification de l'inventaire suivant

- La masse :  $\sum m$  (intrants exclus)  $< x \% m$  (système de produit à l'étude)
- Énergie :  $\sum E$  (intrants énergétiques exclus)  $< x \% E$  (intrants énergétiques du système de produits)

Le pourcentage d'exclusion souvent pratiqué est de 2% (FDES), 5% maximum (PEP Ecoprofil)



**Faut-il inclure les biens  
d'investissement ?**

**Machines et outils, site de  
production, infrastructures, ...**

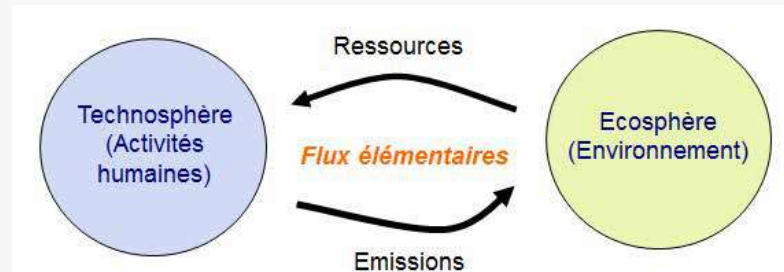
*Antoine Le Duigou, UBS*



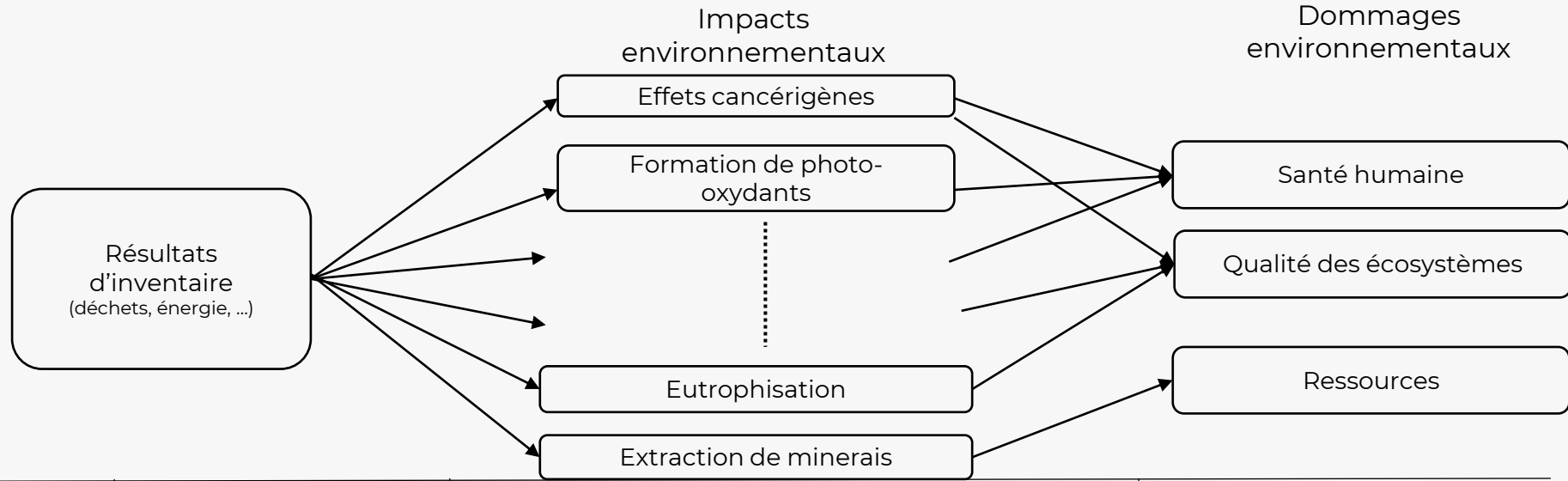
# Etape 3 : Calcul des impacts environnementaux



ISO 14001 : « Toute *modification* de l'environnement, *négative ou bénéfique*, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme.»

- Traduire les consommations et les rejets recensés lors de l'inventaire en **impacts environnementaux**
  - L'impact implique l'action d'un système source (activité humaine) sur un système cible (homme, faune, flore).
  - Changement d'état de la cible sous l'action de la source = **impact**



# Etape 3 : Calcul des impacts environnementaux



	<p><b>Diminution de la représentativité sur l'environnement</b></p>	<p><b>Bon compromis entre représentativité et incertitudes</b></p>	<p><b>Augmentation des incertitudes</b></p>
	<p><b>Facilement compréhensible car habitués à travailler ces données</b></p>	<p><b>Difficilement compréhensible, beaucoup d'informations à traiter hors du champ disciplinaire de l'ingénieur</b></p>	<p><b>Facilement compréhensible car intuitif</b></p>

# Etape 3 : Exemple d'évaluation des impacts GWP

Effet de serre additionnel/réchauffement climatique (**kg CO<sub>2</sub> eq.**)

## Concrètement :

- Gaz à effet de serre absorbent le rayonnement IR
- Absorption du rayonnement IR = Réchauffement = pouvoir radiatif (W/m<sup>2</sup>)

$$GWP_i^{TH} = \frac{AGWP_i^{TH}}{AGWP_{CO_2}^{TH}} = \frac{\int_0^{TH} a_i [C_i(t)] dt}{\int_0^{TH} a_{CO_2} [C_{CO_2}(t)] dt}$$

TH = Horizon de temps

A = pouvoir de réchauffement

i = gaz étudié

a = forçage radiatif

C<sub>i</sub>(t) = Dégradation en fonction du temps du gaz i



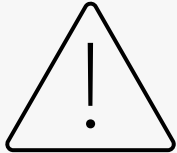
### PRG de certains gaz:

Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	= 1
Méthane (CH <sub>4</sub> )	= 23
Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	= 310
CFC-12	= 6200 –7100
HCFC-22	= 1300 –1400

$$GWP = \sum GWP_i \times m_i$$

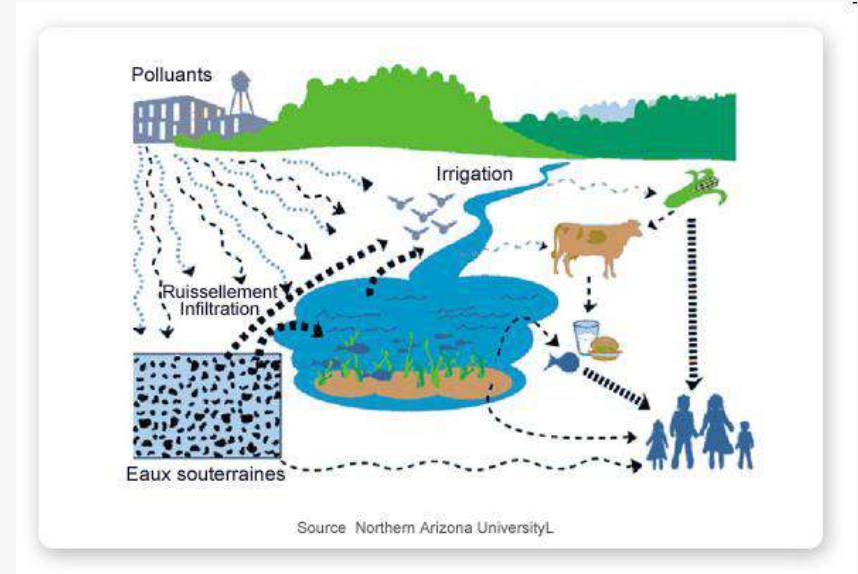
# Etape 3 : Exemple d'évaluation des impacts Toxicité

Impact direct sur la santé humaine : Toxicité humaine (kg dichlorobenzène eq.)



La **toxicité** dépend de :

- la concentration
- l'exposition
- la cinétique
- la susceptibilité
- la longévité



## Etape 4 : Aide à l'interprétation

Possibilité de **Normalisation** = Calcul de l'importance des résultats d'indicateurs de catégorie par rapport à certaines informations de référence = La normalisation transforme un résultat d'indicateur en le divisant par une valeur de référence choisie (impact annuel d'un humain)

Possibilité de **Pondération** = agrégation des données en vue de l'obtention d'un score unique  
Permet une comparaison simple des systèmes

Catégorie d'impact	Facteur de normation	Facteur de pondération (Pt.p <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )
Changement climatique	7,76E+03 <i>kg éq. CO2/(p.yr)</i>	21,06%
Diminution de la couche d'ozone stratosphérique	2,34E-02 <i>kg éq. CFC 11/(p.yr)</i>	6,31%
Toxicité humaine, effets cancérigènes	3,85E-05 <i>CTUh/(p.yr)</i>	2,13%
Toxicité humaine, effets non-cancérigènes	4,75E-04 <i>CTUh/(p.yr)</i>	1,84%
Particules fines	6,37E-04 <i>incidence de maladie/(p.yr)</i>	8,96%
Radiations ionisantes	4,22E+03 <i>éq. kBq U235/(p.yr)</i>	5,01%
Formation d'ozone photochimique	40,6 <i>kg éq. COVNM/(p.yr)</i>	4,78%
Acidification	55,5 <i>mol éq. H<sup>+</sup>/(p.yr)</i>	6,20%
Eutrophisation terrestre	177 <i>mol éq. N/(p.yr)</i>	3,71%
Eutrophisation, eau douce	2,55 <i>kg éq. P/(p.yr)</i>	2,80%



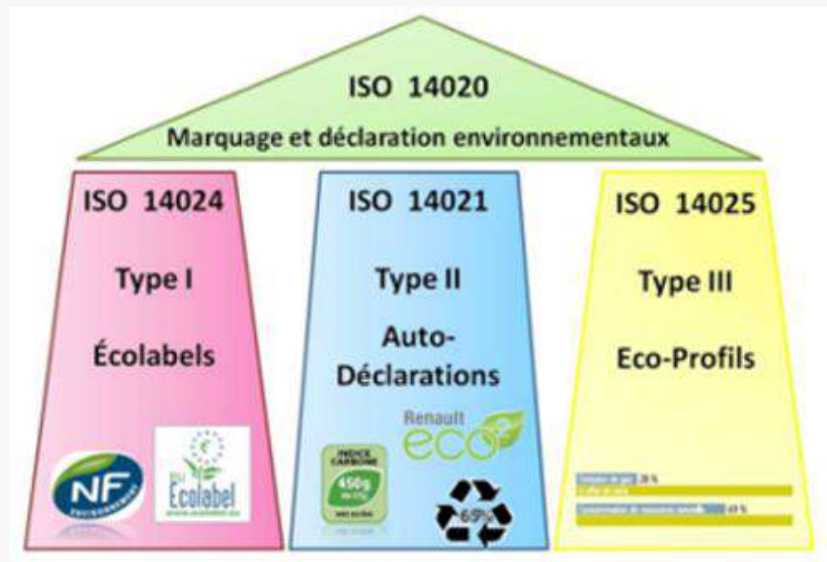
### Pertinence scientifique

# Importance de la communication des résultats d'ACV

## Ecolabels officiels

« Ils disent que je suis performant d'un point de vue environnemental... »

**Un niveau d'exigence garanti, apporte la double garantie environnement + qualité**



## Ecoprofiles :

« voici mes résultats, à vous de juger... »

**Gage d'exactitude et de transparence**

## Autodéclaration :

« Je dis que je suis performant d'un point de vue environnemental... »

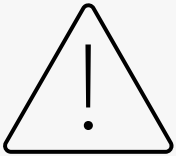
**Le pire ET le meilleur..., concerne uniquement l'environnement**



# Communication des résultats d'une ACV

**Revue critique**, réalisée par un panel d'experts indépendants pour :

- Valider la pertinence des hypothèses
- Valider les résultats d'une ACV
- Vérifier l'objectivité de l'étude
- Vérifier le respect des normes 14040 et 14044. La revue critique est **obligatoire** dans le cas d'une diffusion de l'étude au grand public



**Communication grand public vs outil de développement interne**



Sciences  
ISO 14044

- Incertitudes sur les facteurs de caractérisation  
- Incertitudes sur les données  
- Méthodologie particulière



Communication  
*Blanchissement écologique*



- Convaincre  
- Vendre

# Sommaire de l'exposé

Principe  
général de  
l'ACV

Les 4 étapes  
de l'ACV

Forces et  
faiblesses de  
l'ACV

Exemples  
d'applications  
en recherche  
sur les  
composites



# Forces d'une ACV

L'ACV est une **méthode standardisée** selon les normes ISO. Il s'agit d'une caractéristique essentielle. Les résultats d'une ACV doivent être présentés de manière suffisamment détaillée pour que le lecteur comprenne les compromis complexes propres à l'ACV. Lorsque les résultats de l'ACV sont destinés à être communiqués à un tiers, un rapport doit être élaboré et une revue critique réalisée

L'ACV est le **seul outil** permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit ou service sur tout son cycle de vie

L'ACV fournit une vision d'ensemble d'un produit ou d'un service et permet d'éviter les transferts d'impacts

L'ACV peut **orienter la prise de décision** pour une entreprise (micro-économique) et aider à définir une politique publique (macro-économique)

L'ACV permet de remettre en question des idées reçues en fournissant des **résultats objectifs et quantifiés**



# Faiblesses d'une ACV

Coût : de 10 000 € à 1 000 000 €

L'ACV évalue des **impacts potentiels**, non des impacts réels.

## Une ACV détaillée requiert un grand nombre de données et de ressources

Les résultats d'une ACV sont **géographiquement dépendants** de la zone d'où proviennent les données.  
L'ACV ne permet pas de modéliser tous les critères d'aide à la décision, **il est nécessaire de compléter** le modèle avec d'autres critères (économiques, techniques, ...)

Il peut y avoir un risque de mauvaise interprétation, notamment par des acteurs externes à l'ACV : rappeler les objectifs définis au départ et afficher clairement les limites méthodologiques de l'ACV réalisée. En outre, les résultats de l'ACV sont dépendants des hypothèses énoncées, il faut bien les préciser

Les modèles linéaires pour estimer les impacts (évaluation de la toxicité) ne sont pas toujours représentatifs de la réalité des impacts et des dommages

L'ACV ne prend pas en compte les effets rebond, les effets multiplicateurs (effet cocktail),...  
Il s'agit d'un outil relatif, la notion d'incertitudes est inhérente à la méthodologie

# Sommaire de l'exposé

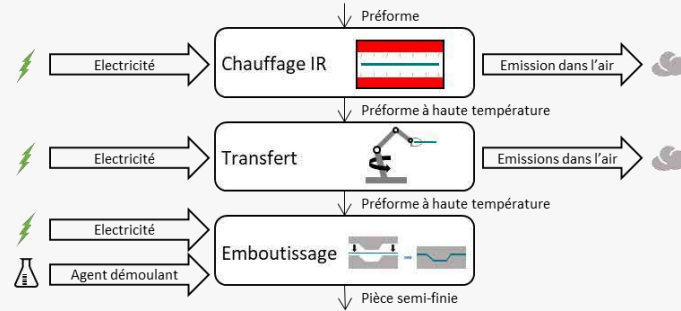
Principe  
général de  
l'ACV

Les 4 étapes  
de l'ACV

Forces et  
faiblesses de  
l'ACV

Exemples  
d'applications  
en recherche  
sur les  
composites

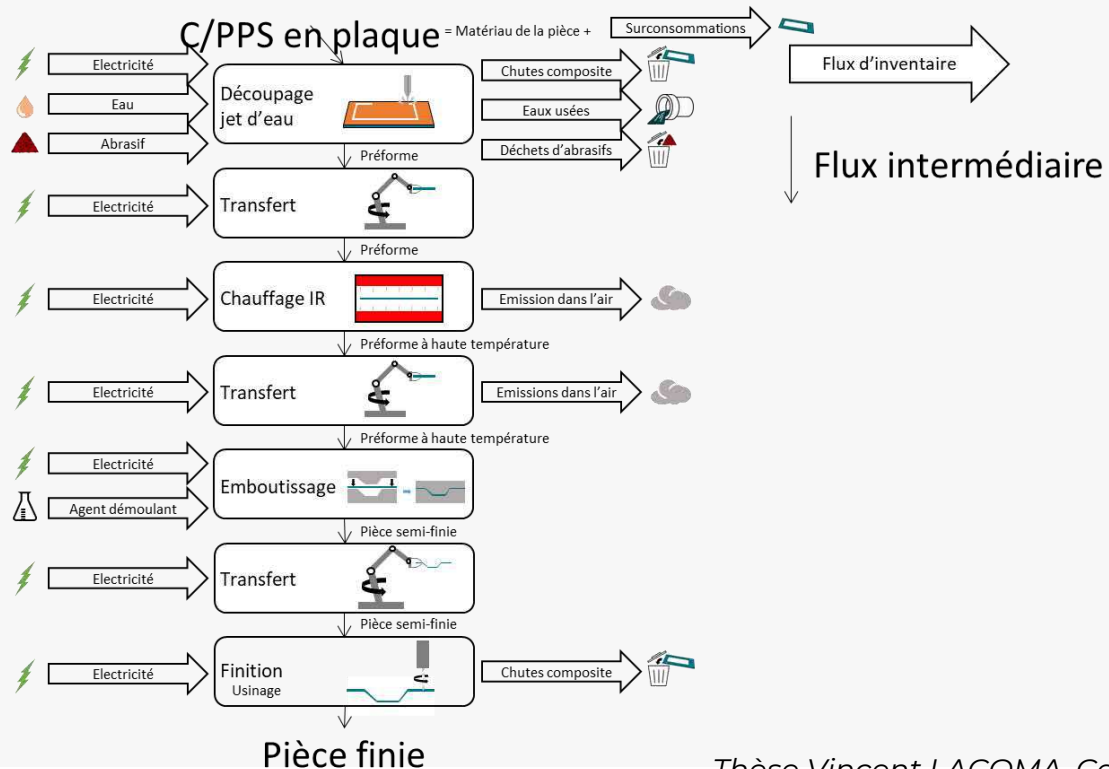
# Application au thermo-estampage de composite PPS/C



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes



# Application au thermo-estampage de composite PPS/C



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

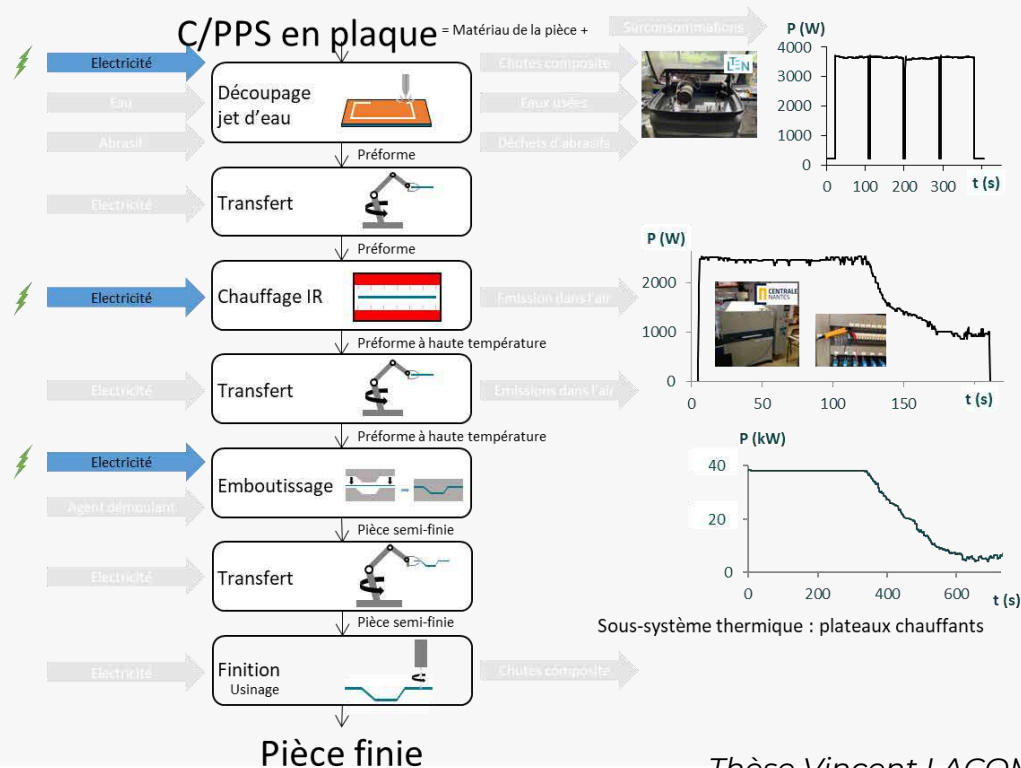
# Application au thermo-estampage de composite PPS/C

Méthode de collecte de données :

→ Mesures



Fluke 434 II

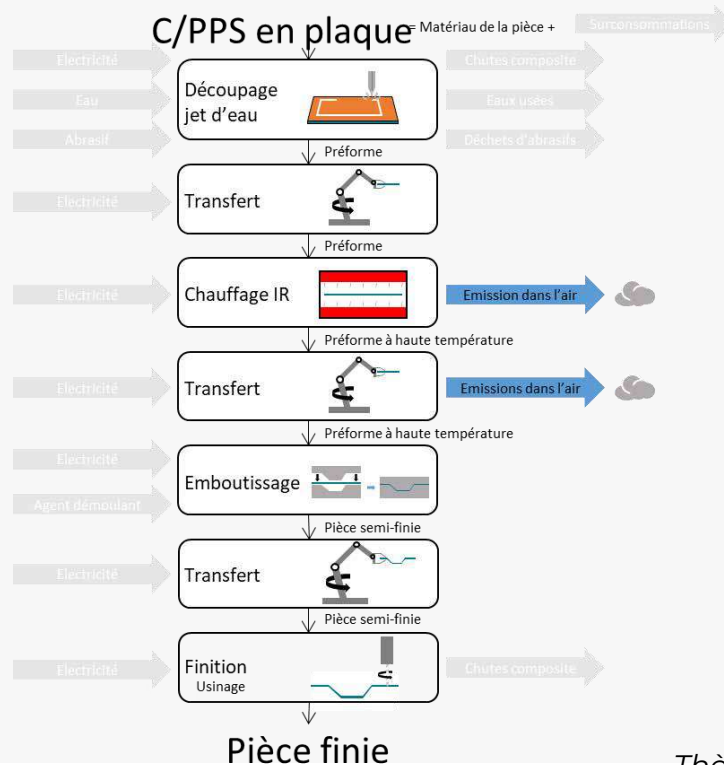


Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

# Application au thermo-estampage de composite PPS/C

Méthode de collecte de données :

→ : Mesures



Relevés avec des appareils de mesure portables :



Détecteur à photoionisation Q-TRAK (TSI)



Compteur de particules optique DUSTTRAK (TSI)

+ essais ATG - MS



MS Pfeiffer Vacuum



ATG Setsys Evolution

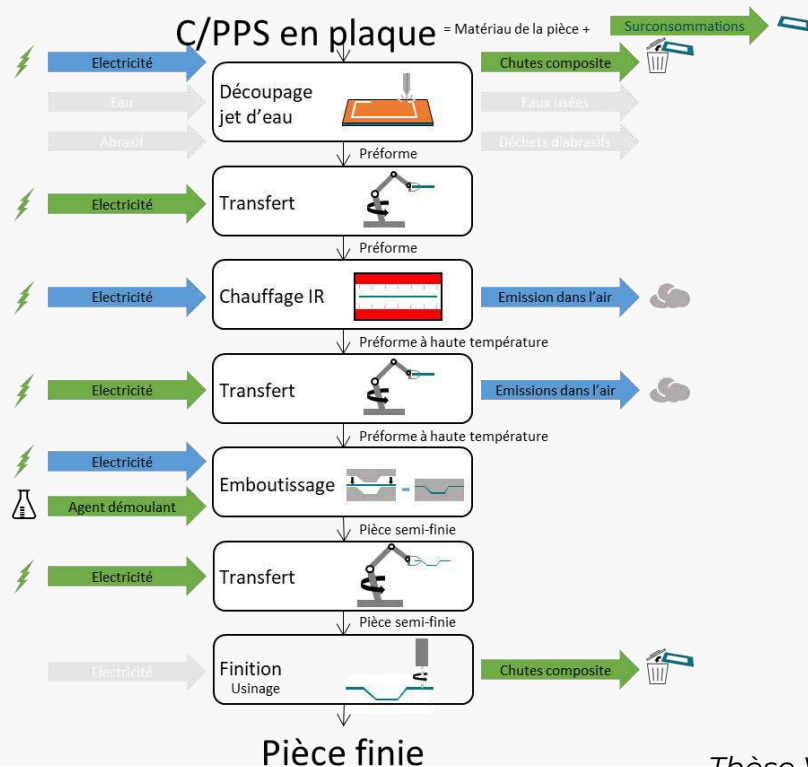
Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

# Application au thermo-estampage de composite PPS/C

Méthode de collecte de données :

→ : Mesures

→ : Littérature



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

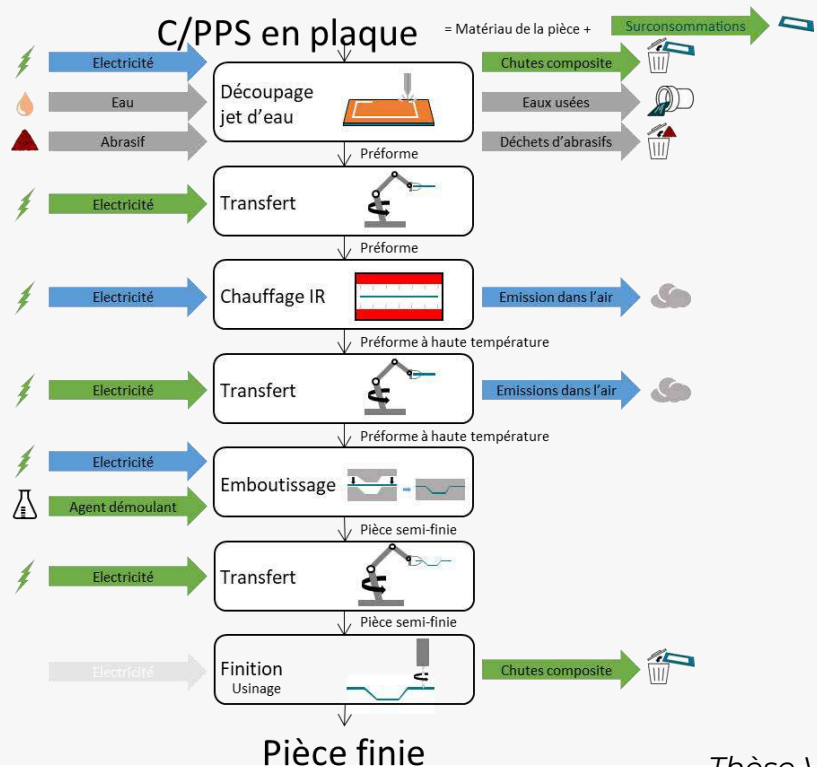
# Application au thermo-estampage de composite PPS/C

Méthode de collecte de données :

→ : Mesures

→ : Littérature

→ : Spécifications machine



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

# Application au thermo-estampage de composite PPS/C

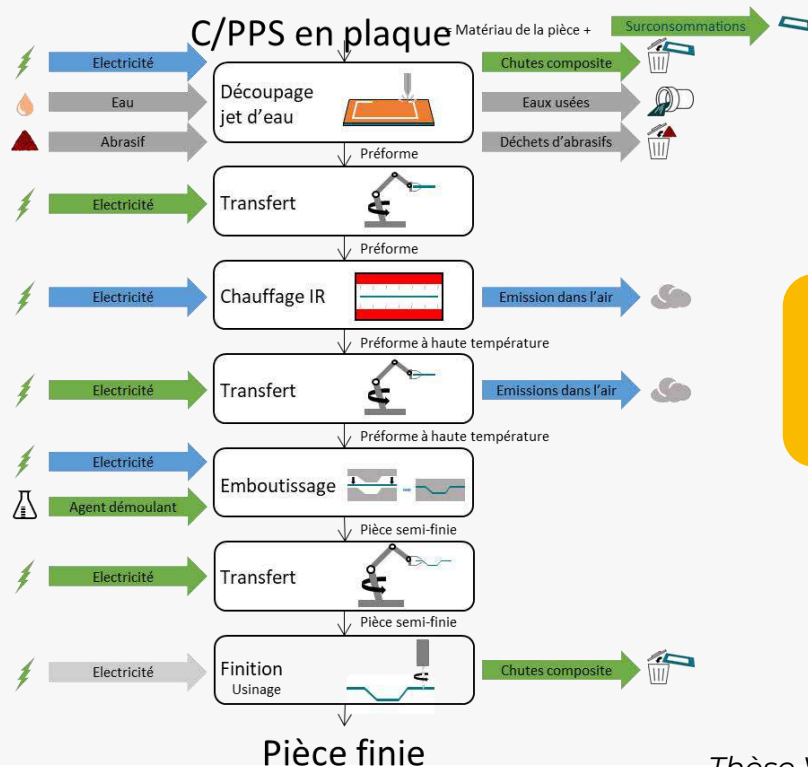
Méthode de collecte de données :

→ : Mesures

→ : Littérature

→ : Spécifications machine

→ : Ecoinvent

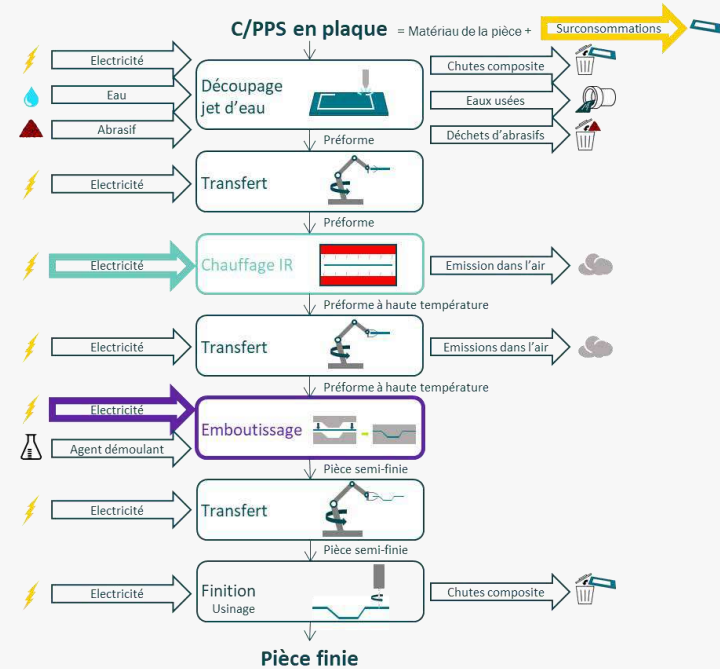
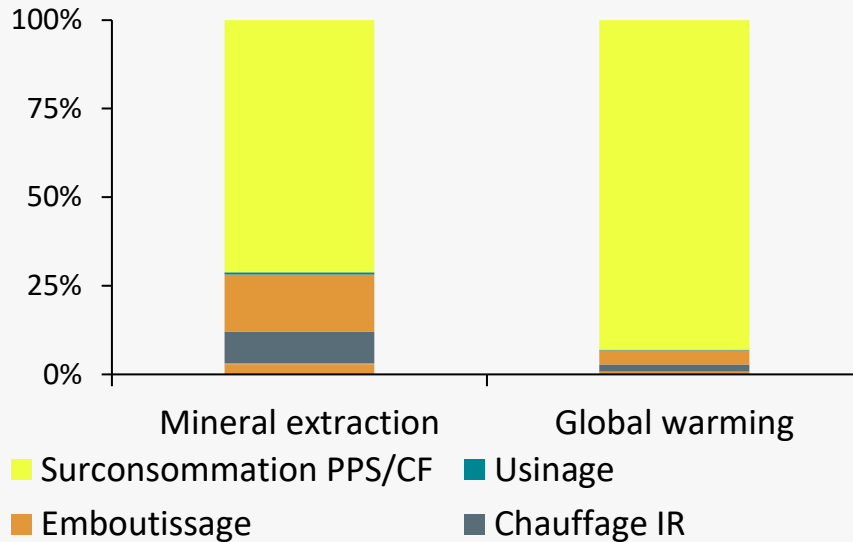


A partir des données d'inventaire collectées :  
Flux d'inventaire = f (paramètres)

Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes



# Exemples de résultats



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

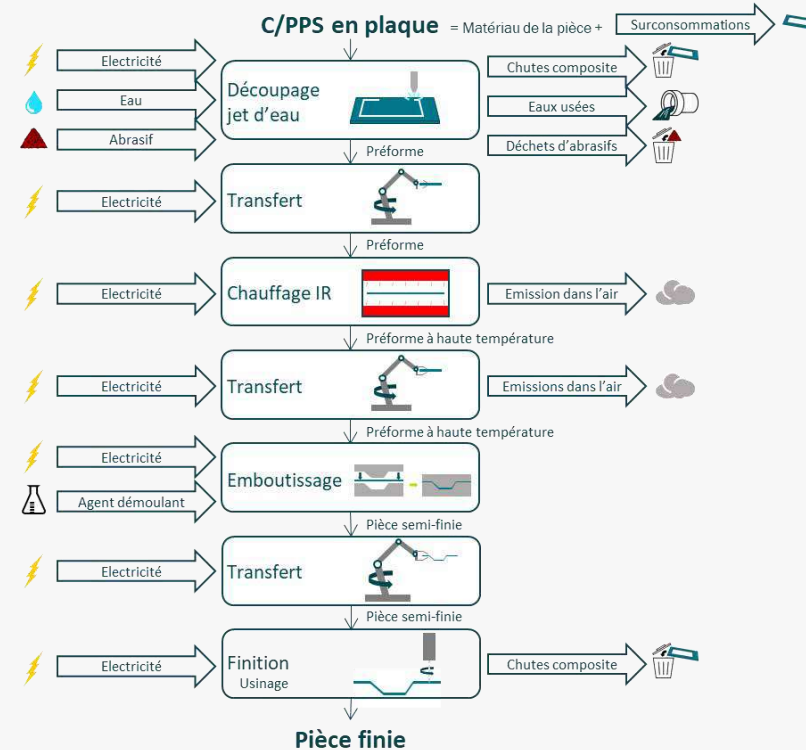
# Evaluation économique

Périmètre basé sur **le même arbre des processus** :

$$Cout = \sum Flux\ inventaire \times facteur\ de\ cout$$

Avec Flux d'inventaire = f(paramètres procédé)

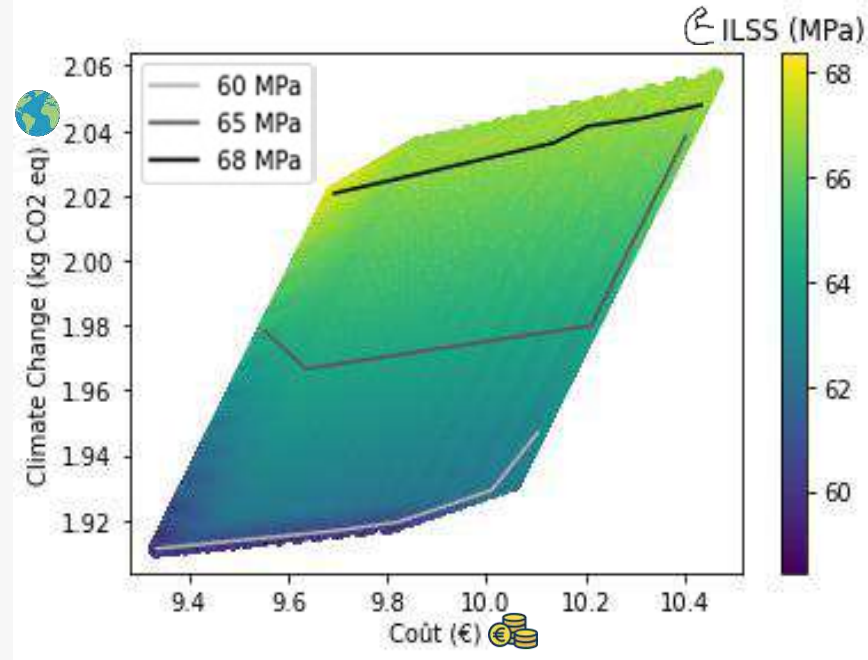
Flux d'inventaire	Donnée
Energie électrique	0,085 €/kWh
Eau	3,98 €/m <sup>3</sup>
Abrasifs (grenats)	0,7 €/kg
Traitement des déchets	64 €/t
Agent démoulant	41,7 €/L
Surconsommations de matériau	38 €/kg
Main d'œuvre	40,4 €/h



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

# Evaluation multicritère : technique-économique-environnementale

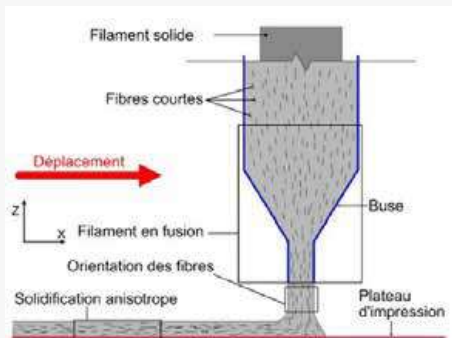
Exploitation de la courbe iso-qualité sur trace de la surface de réponse



Thèse Vincent LACOMA, Centrale Nantes

# Application à l'impression 3D composite PA12/C

Imprimante Raise3D Pro2



Filament CARBONX™ CF-Nylon

Éprouvette de traction 1A



Vérification de l'impact sur la résistance à la traction [ISO 527:2012]

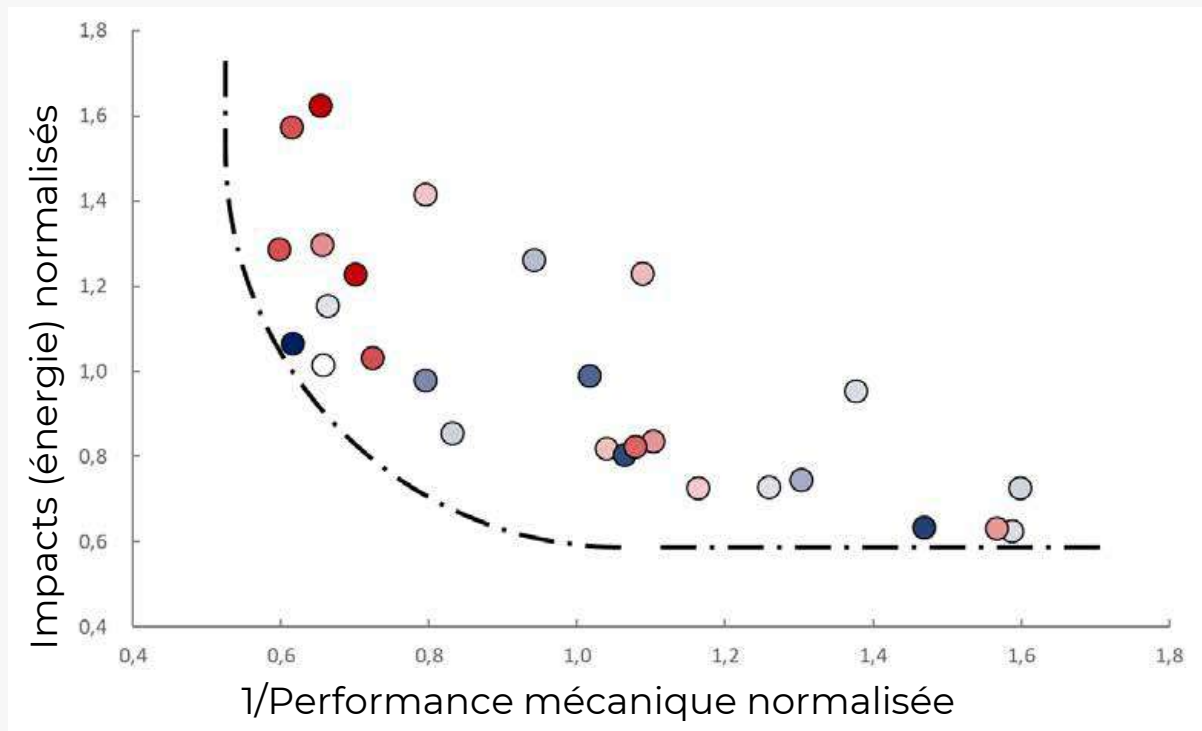
Mesure de la consommation énergétique



Enregistreur HOB0 UX120 [ISO 14955:2017]

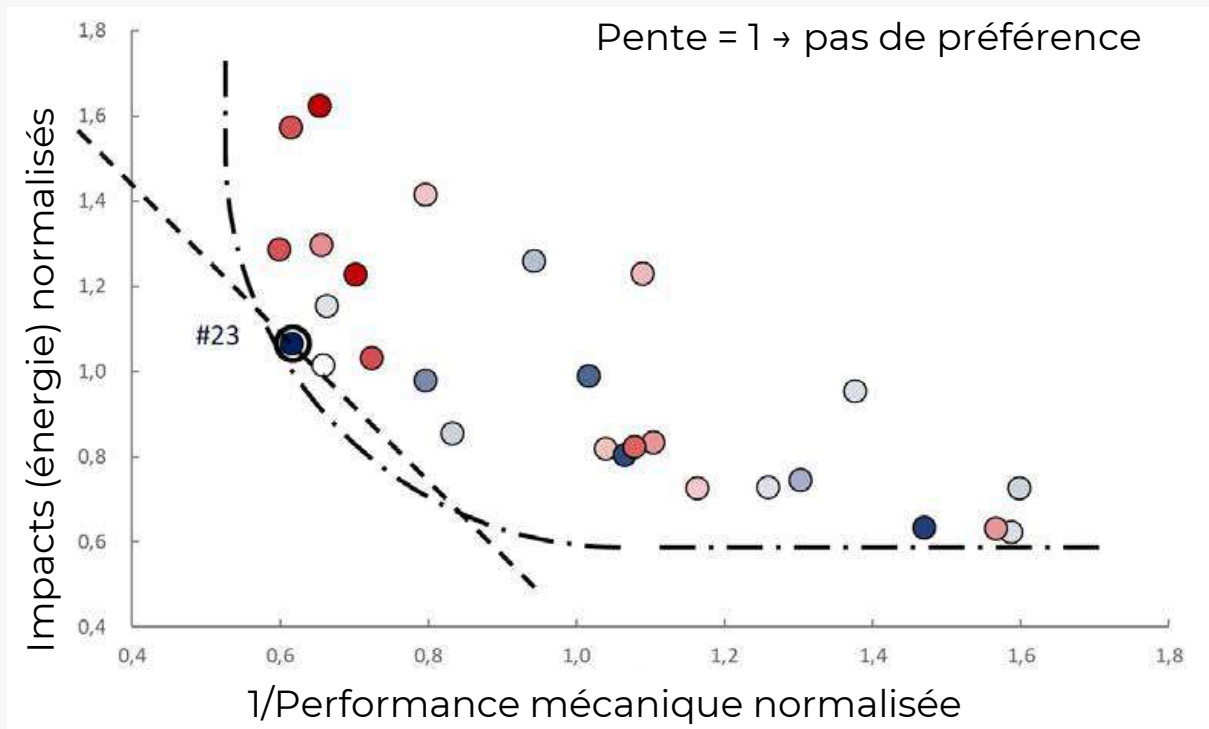
Thèse Thibault LE GENTIL, ENS Rennes

# Application à l'impression 3D composite PA12/C



Thèse Thibault LE GENTIL, ENS Rennes

# Application à l'impression 3D composite PA12/C

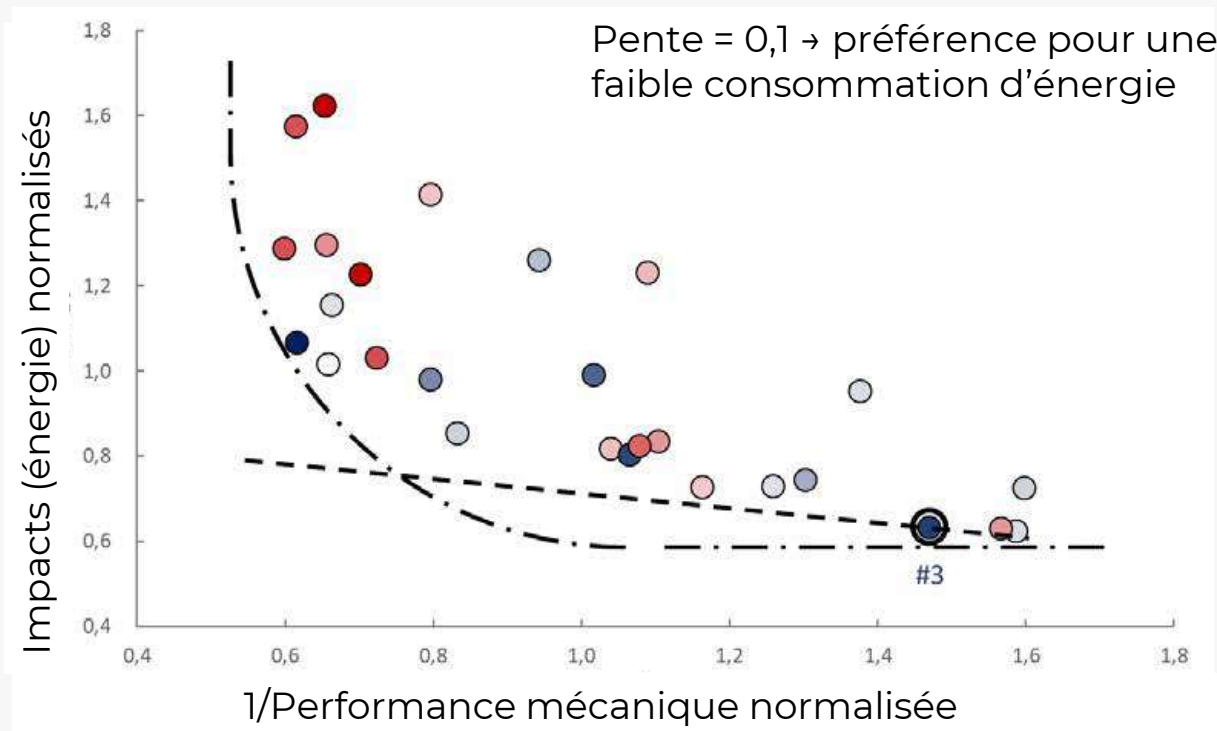


Coût normalisé

Thèse Thibault LE GENTIL, ENS Rennes

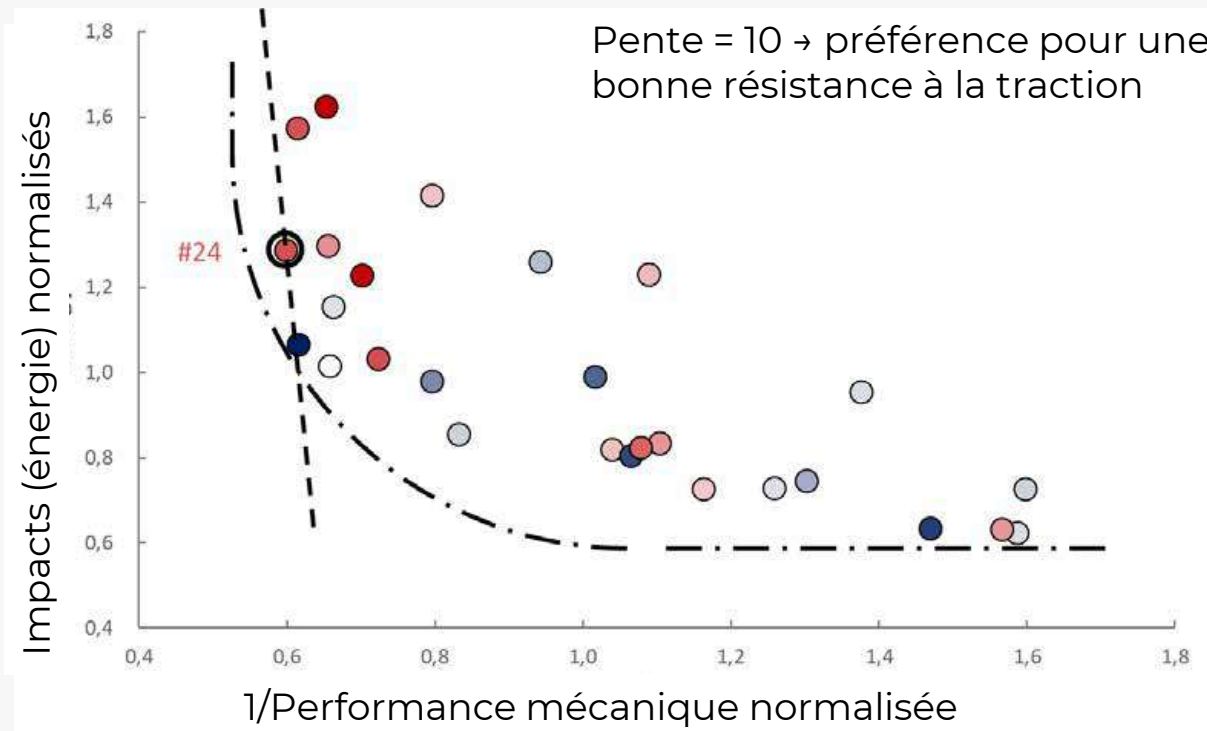


# Application à l'impression 3D composite PA12/C



Thèse Thibault LE GENTIL, ENS Rennes

# Application à l'impression 3D composite PA12/C



Thèse Thibault LE GENTIL, ENS Rennes

# Introduction générale à l'ACV

# Merci pour votre attention

Olivier KERBRAT  
Professeur des universités  
Ecole normale supérieure de Rennes  
Institut de Physique de Rennes

[Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr](mailto:Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr) / 02.99.05.52.75



Université  
de Rennes



**Merci !**  
**Des questions ?**

# Retour d'expérience du projet EcoPlex

Frédéric Madiot – Resp. Marketing



# Le projet EcoPlex

**Objectifs** : Faciliter la réalisation d'ACV sur des systèmes navals complexes

## Résultats attendus :

Un logiciel et une méthode permettant d'assurer une continuité numérique entre :

- le logiciel open-source MBSE Capella
- et des logiciels ACV du marché (OpenLCA, SimaPro, Ecodesign Studio)

**Durée** : 18 mois (juin 2021 -> décembre 2022)

## Partenaires :



## Avec le support de :





# Enjeux | Gérer la complexité

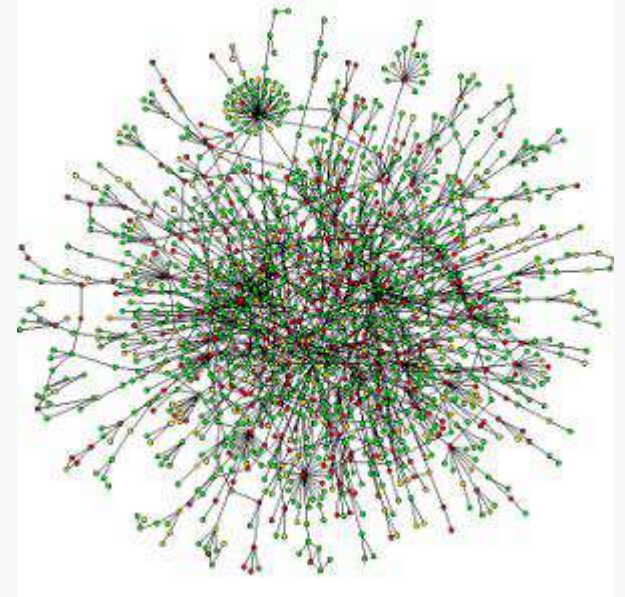
« Un **système complexe** est un ensemble constitué d'un grand nombre d'entités en interaction dont l'intégration permet d'achever un but commun » (Wikipedia)

Importance de réaliser des ACV **plus tôt** dans le cycle de conception du système, et **plus souvent**.



Pouvoir **comparer** différentes alternatives de conception en fonction de leurs **impacts**

- Vision gros-grain (en amont)
- Focus sur un composant (sous-partie)
- Focus par typologie d'usage (missions)



# Constat | Un véritable casse-tête !

Réaliser une ACV implique de renseigner la **nomenclature** du produit à analyser

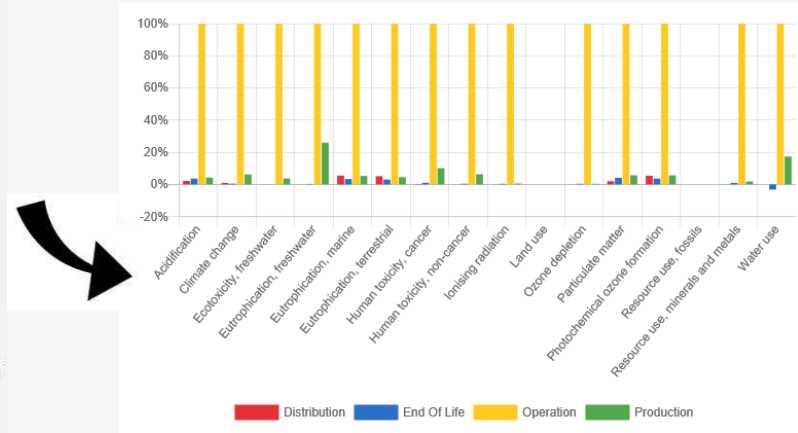


Où trouver l'information ?

Comment la segmenter ?

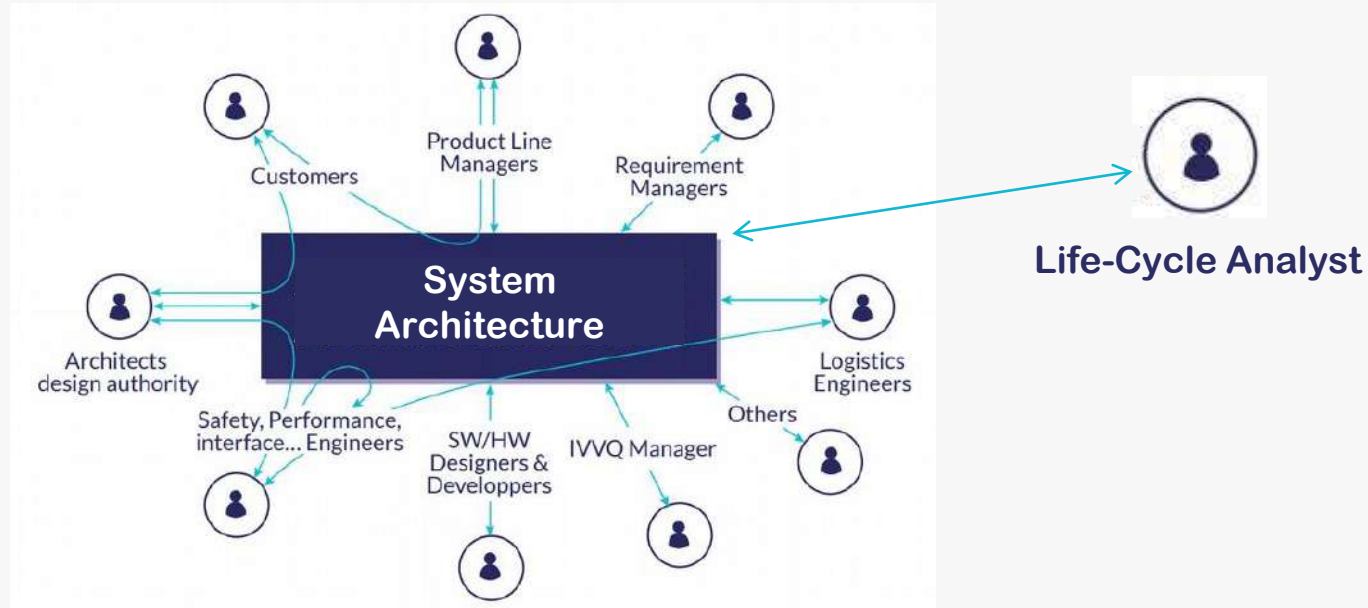
Comment la faire évoluer ?

Comment la réutiliser ?



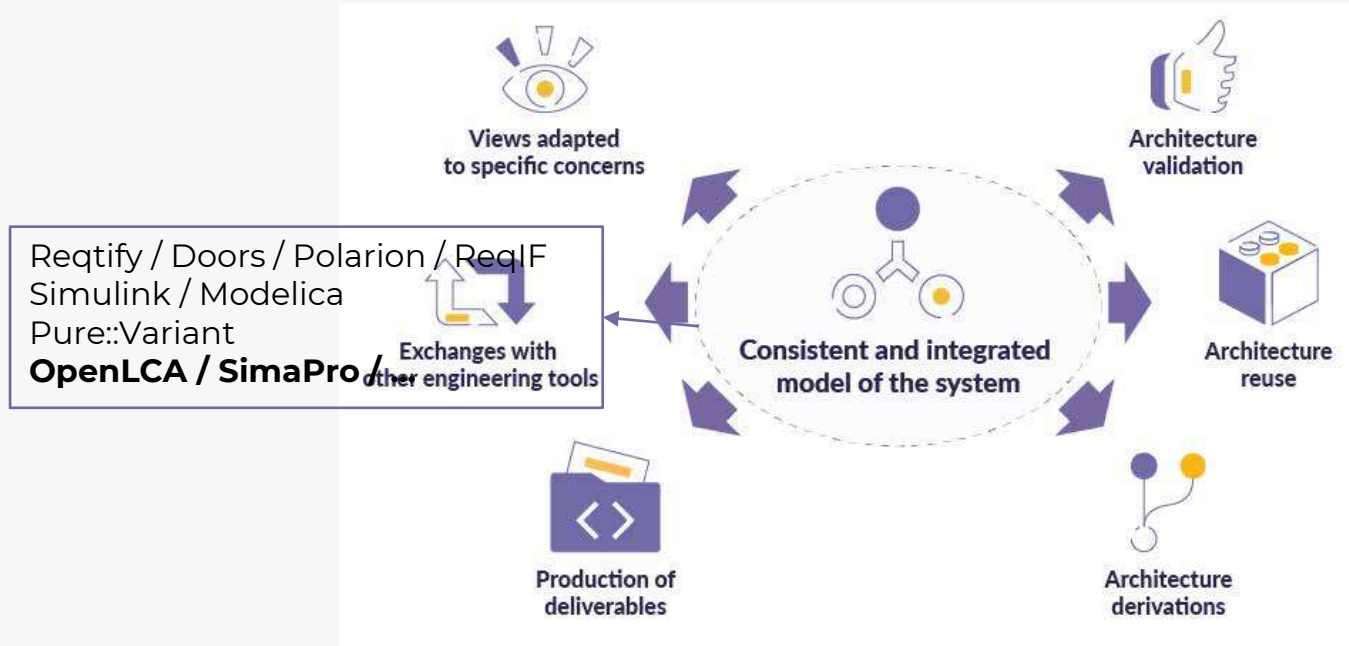
# Solution proposée | Intégrer ACV et Ingénierie Système

« **L'ingénierie système** est une approche scientifique **interdisciplinaire**, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception et la validation de **systèmes complexes**. » Wikipedia



# MBSE | Model-Based Systems Engineering

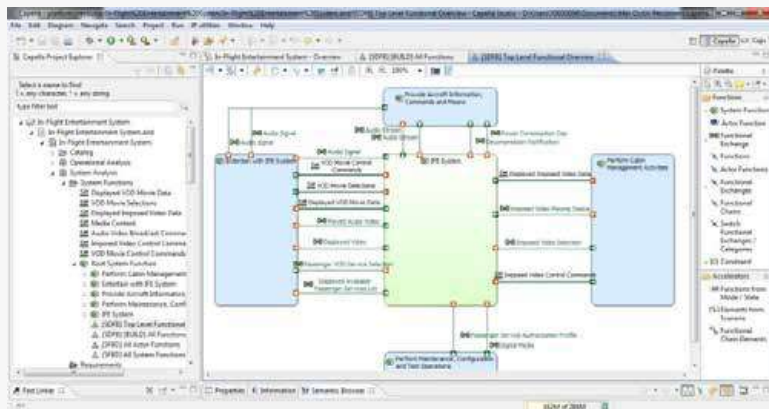
Le **MBSE** permet de décrire l'architecture d'un système à l'aide d'un modèle numérique



# Capella | Un logiciel MBSE open-source



mbse-capella.org



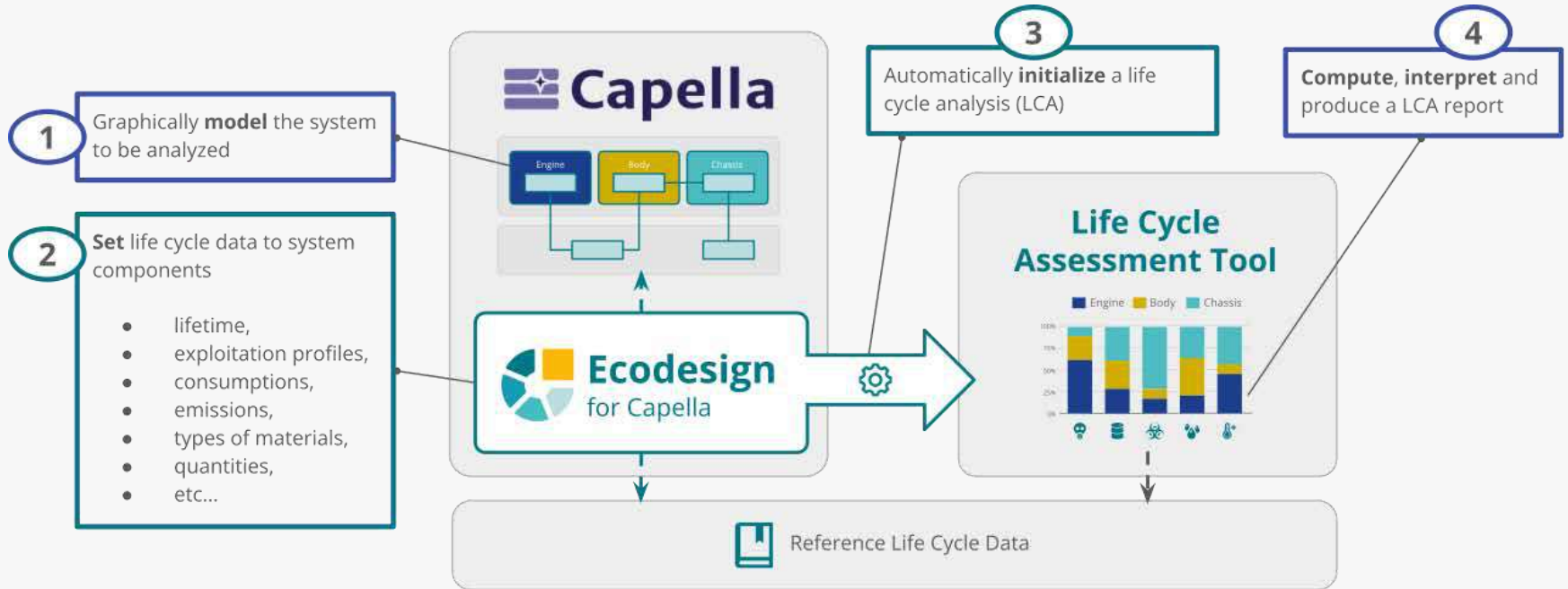
Développé par Thales, Capella est adopté **mondialement** dans de nombreux domaines.

**Obeo** assure le développement d'un éco-système ouvert (promotion de ses acteurs, diffusion gratuite de ressources, ...).



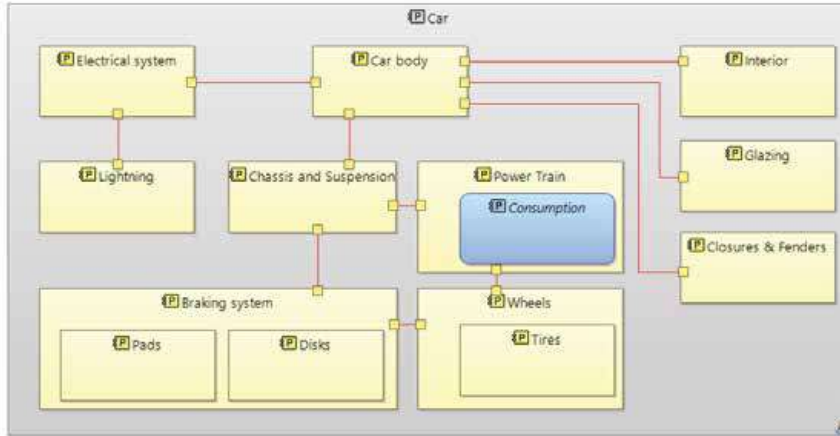
Eco-conception & Analyse de cycle de vie (ACV) – 23.11.23

# Réalisation | Développement d'une extension à Capella

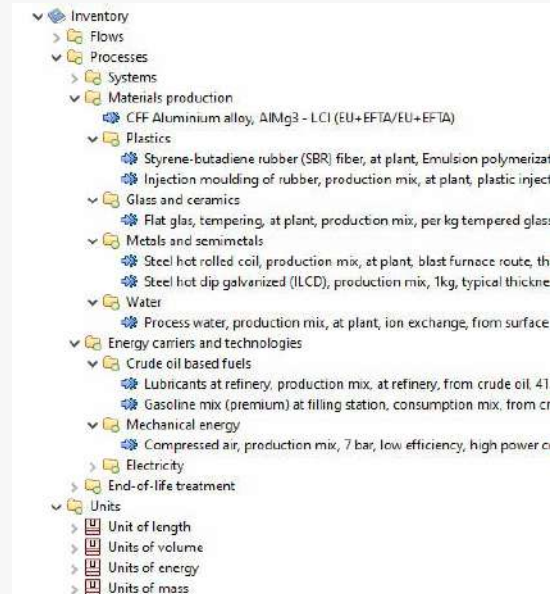


# Exemple d'utilisation (1/2)

Modélisation graphique du système



Import de données standard d'ACV





# Exemple d'utilisation (2/2)

## Quantification sur les composants

Name	Quantity	Unit	Exploitati...	Explo...
Car			250000.0	km
Production				
Electricity from nuclear , production mix, at power plant, AC, technology mix of BWR i	2.82	MWh		
Process water, production mix, at plant, ion exchange, from surface water (RER/Europ	3.5	t		
Waste water treatment, at waste water treatment plant, industrial waste water accordi	3.5	t		
Distribution				
Operation				
Urban consumption			65.0 %	
Urban (Consumption)				
Car petrol, urban consumption, gasoline driven, Euro 5, passenger car, engine sic	1.0	km	1.0	km
Extra-Urban consumption			35.0 %	
Extra-Urban (Consumption)				
Car petrol, extra-urban consumption, gasoline driven, Euro 5, passenger car, eng	1.0	km	1.0	km
Maintenance				
End of Life				

Name	Quantity	Unit	Exploit...	Explo...
Car body				
Production				
Aluminium sheet deep drawing (parametrised), single route, at plant, primary product	58.0	kg		
Injection moulding, production mix, at plant, plastic injection moulding, for PP, HDPE	50.0	kg		
Steel hot dip galvanized (IICD), production mix, at plant, blast furnace route, 1kg, typi	232.0	kg		
Distribution				
Operation				
Maintenance				
Lubricants at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, 41.8 MJ/kg net calor	1.0	kg	10000.0	km
End of Life				
Landfill of plastic waste, at landfill site, landfill including landfill gas utilisation and le	25.0	kg		
Recycling of aluminium into aluminium ingot - from post-consumer, production mix, z	58.0	kg		
Recycling of steel into steel billet, production mix, at plant, collection, transport, pretz	232.0	kg		
Waste incineration of plastics (PE, PP, PS, PB), at plant, average European waste-to-ene	25.0	kg		

## Export dans OpenLCA



Flow:

Impact category:

Contribution	Process	Amount	Unit
100.00%	Aggregator	4.1707064	kg CO2 eq
98.04%	Car Operation	4.0890664	kg CO2 eq
65.63%	Car Urban consumption	2.7370564	kg CO2 eq
32.42%	Car Extra-Urban consumption	1.3520064	kg CO2 eq
01.94%	Car Production Aggr	807.08793	kg CO2 eq
00.08%	Car Maintenance Aggr	32.57218	kg CO2 eq
00.00%	Glazing End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	Electrical system End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	Pads End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	Power Train End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	Disks End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	Wheels End of Life Aggr	0.00000	kg CO2 eq
-00.00%	Closures & Fenders End of Life Aggr	-0.55161	kg CO2 eq
-00.05%	Car body End of Life Aggr	-22.63886	kg CO2 eq

# Cas d'étude réels

## Navire de dépollution



Définir les **axes d'amélioration** pour rendre le design et l'opération du bateau **plus éco-responsables**.



## Navire de Soutien Éolien



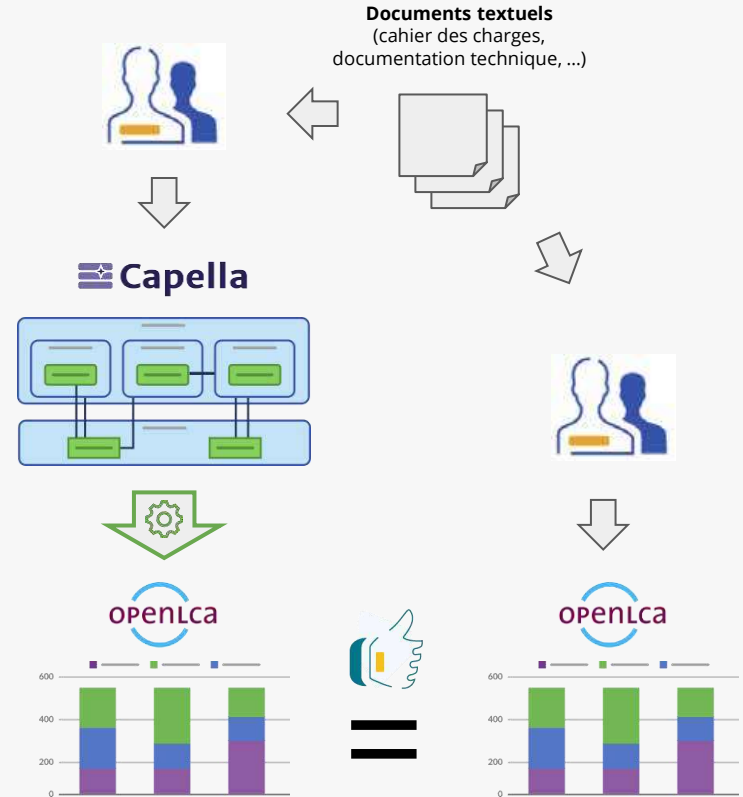
Évaluer l'**impact environnemental** d'un navire existant pour pouvoir étudier des **variantes** d'éco-conception



# Démarche utilisée pour valider la solution

**Comparaison** de deux ACV réalisées dans OpenLCA

- **1<sup>ère</sup> ACV manuelle**
  - directement dans OpenLCA
  - par des ingénieurs éco-conception
- **2<sup>ème</sup> ACV automatique**
  - à partir d'un modèle Capella
  - par Obeo avec des ingénieurs éco-conception
  - exporté automatiquement dans OpenLCA



# Bilan & Perspectives



## Le projet a prouvé l'intérêt de l'approche

- Représentation visuelle du système
- Résultats d'ACV fiables
- Meilleure structuration des données dans OpenLCA
- Réutilisation du modèle Capella pour réaliser d'autres ACV
- Facilitation du dialogue entre ingénieurs



## Nombreuses pistes d'amélioration/réflexion identifiées

- Support d'autres outils (SimaPro, Gabi, Ecodesign Studio)
- Mécanismes plus avancés pour exprimer les propriétés des composants (formules)
- Remontée des résultats d'analyse dans le modèle système ?
- Répartition des rôles & activités entre ingénieurs système/éco-conception/environnement ?
- Utilisabilité de l'outillage sans une démarche MBSE ?



## Lancement d'un Early Adopters Program

- Sélection des participants (maturité, cas d'usage concret)
- Prêt des licences
- Accompagnement
- Partage des résultats

**Merci !**  
**Des questions ?**

# Transport Ferroviaire – ACV Bio composites Feu/Fumée

Dr. Franck Callebert – Resp. Industrialisation





# Présentation Groupe Depestele

DEPESTELE

premier producteur privé  
de lin en Europe

3 entreprises :

SAS Teillage VANDECADELAERE (14)

SA Linière de Bosc-Nouvel (76)

SAS LINAFIL (14)

## QUELQUES CHIFFRES

13 000 ha cultivés

93 000 tonnes de paille

22 000 tonnes de fibres

10 000 tonnes d'étoupes

5 600 tonnes de graines

46 500 tonnes d'anas

2 000 tonnes de lin peigné

149 salariés, 16 pour l'activité renforts

90 000 000 € de Chiffre d'Affaires



# Nos métiers



## LA CULTURE DU LIN

Semé entre mars et avril, le lin a seulement besoin de 100 jours pour arriver à maturité. Il va rapidement croître pour atteindre 1 m.

Une fois à maturité (mi-juillet), il est arraché : le rouissage commence. C'est une étape clé pour la qualité des fibres de lin : il faut une alternance de pluie, de soleil et de brise pour que la paille commence à se séparer de la fibre.

Les pailles sont ensuite récoltées puis livrées au teillage.



## LE TEILLAGE

L'objectif du teillage est de séparer les différents constituants des tiges de lin : la filasse, les étoupes, les anas, les graines et la poussière.

Dans un premier temps, les graines sont séparées des tiges de lin par des peignes. Ensuite, ces tiges passent d'abord dans des cylindres cannelés pour briser la paille sans endommager les fibres, puis dans des battoirs pour en extraire les anas.



## LE PEIGNAGE ET L'AFFINAGE

La filasse issue du teillage est d'abord peignée afin d'éliminer tous les petits morceaux de paille restant et surtout de diviser les faisceaux de fibres. Ces fibres peignées sont ensuite rassemblées pour constituer un long ruban continu d'environ 35 g/m.

Les lins peignés sont progressivement mélangés et étirés, jusqu'à obtenir des rubans du titre voulu. Ces mélanges permettent de garantir une uniformité des propriétés des rubans, quelles qu'aient été les conditions de culture.

Après une étape de finition, les rovings sont bobinés sans torsion puis conditionnés.

# Objectifs du Projet Life-FARBioTY



Fire and **A**geing **R**esistant **B**iocomposite for **T**ransportation Industry**Y**

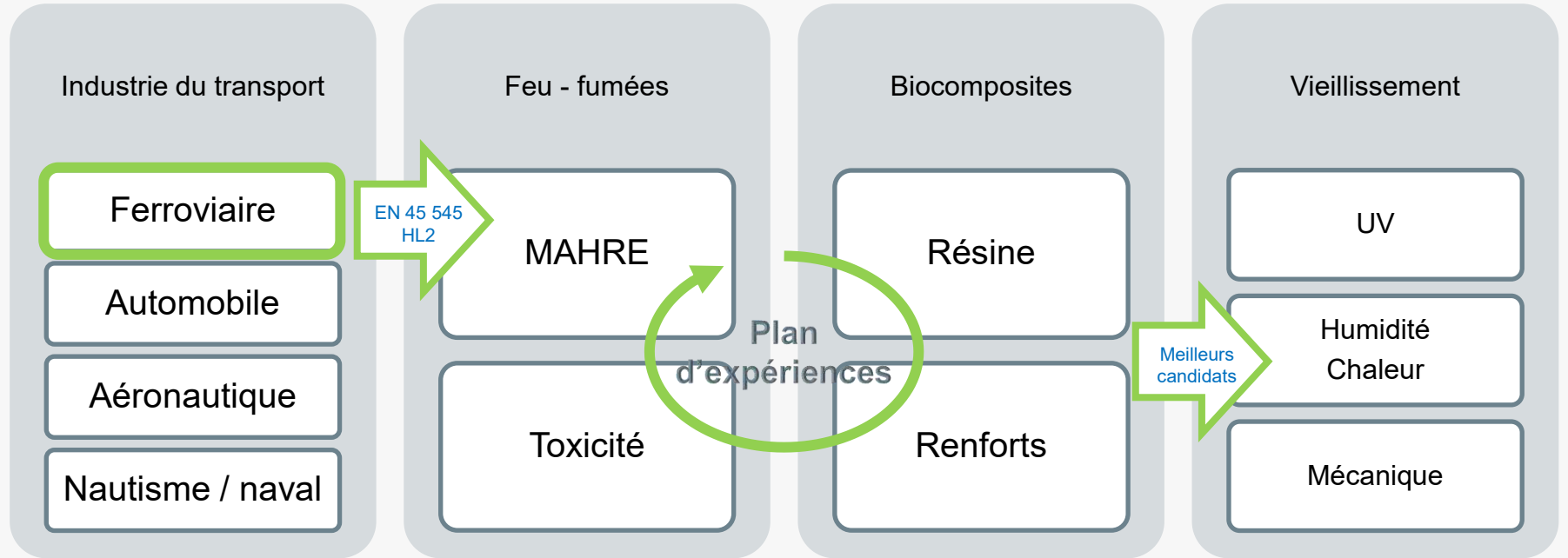


Eco-Conception d'une nouvelle balise d'odométrie ferroviaire proposant un impact environnemental optimisé et conservant les propriétés mécaniques et feu/fumées de la balise actuelle (SMC Vinylester / fibres de verre)

# Objectifs du Projet Life-FARBioTY



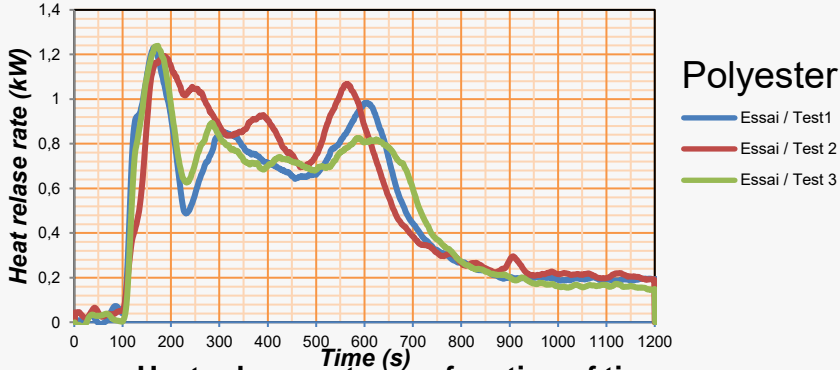
Fire and **A**geing **R**esistant **B**iocomposite for **T**ransportation Industry**Y**



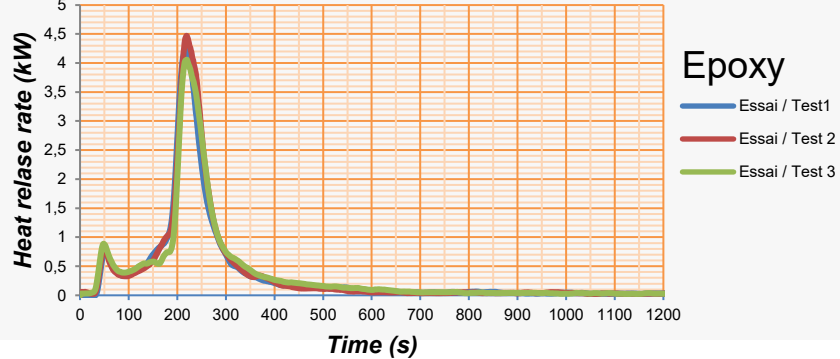


# Maximum Average Heat Rate of Emission

Heat release rate as a function of time



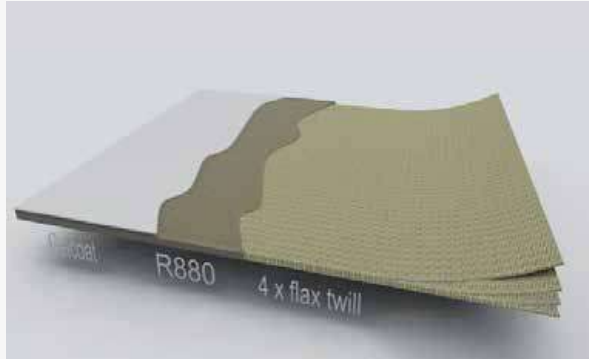
Heat release rate as a function of time



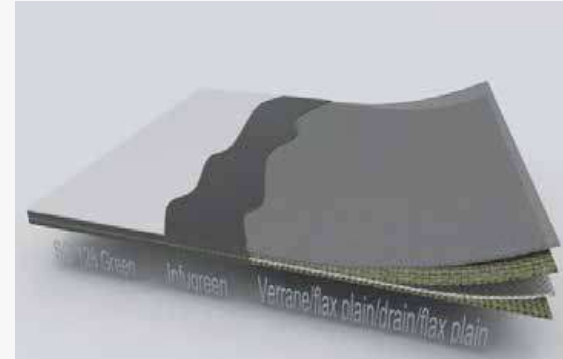
Reference	Resin	Fiber	Material processing method	MAHRE (kW/m <sup>2</sup> )	Toxicity (ITC <sub>PNL</sub> )
T CPT 1	Polyester	Glass	Compaction	64	0.79
T RTM 3	Epoxy	Glass	RTM	115	3.24
T INF 4	Epoxy	Glass	RTM	107	3.25
CPT 1	Polyester	Flax twill	Compaction	78	1.48
CPT 2	Polyester	Flax twill	Compaction	99	1.82
CPT 3	Polyester	Flax twill	Compaction	84	1.92
CPT 4	Polyester	Flax plain	Compaction	97	1.92
CPT 5	Epoxy	Flax plain	Compaction	137	6.00
CPT 6	Epoxy	Flax twill	Compaction	97	4.84
INF 1	Epoxy	Flax plain	Infusion	148	3.88
INF 2	Epoxy	Flax plain	Infusion	180	5.55
INF 5	Epoxy	Flax plain	Infusion	189	4.78
INF 6	Epoxy	Flax plain	Infusion	165	5.11
RTM 1	Polyester	Flax plain	RTM	214	3.77
RTM 2	Polyester	Flax plain	RTM	211	4.08
RTM 3	Epoxy	Flax plain	RTM	106	4.35



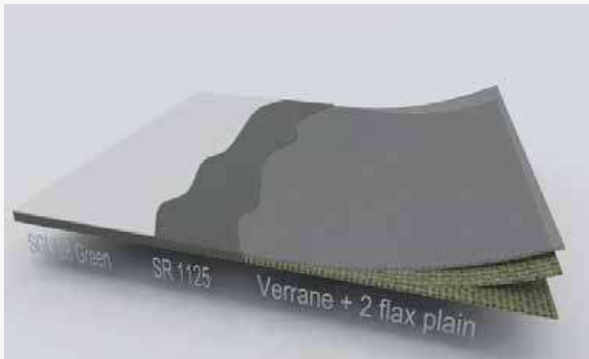
# Matériaux sélectionnés



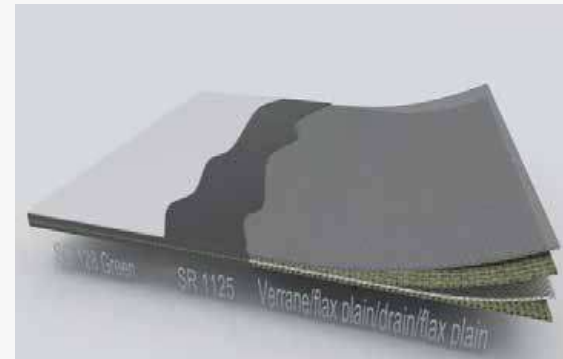
CPT1  
GC Halogen free  
Polyester  
4 x THPC  
Twill 360 gsm  
**Compaction**



INFU1  
GC Bio-époxy  
Bio-époxy  
THPC P720 gsm  
Drain  
THPC P720 gsm  
**Infusion**



INFU2  
GC Bio-époxy  
Epoxy  
THPC P720 gsm  
Drain  
THPC P720 gsm  
**Infusion**



RTM3  
GC Bio-époxy  
Epoxy  
THPC P720 gsm  
Drain  
THPC P720 gsm  
**RTM**

# Propriétés mécaniques initiales

Comportement en traction NF EN ISO 527

Reference	Sens	Contrainte Maximale (MPa)		Module (MPa)		Coefficient de Poisson	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
INFU 1	Sens 1	117	14	13991	2220	0,154	0,024
	Sens 2	126	3	15539	706	0,117	0,023
Infu 2	Sens 1	95	2	11315	282		
	Sens 2	91	6	12416	701		
CPT1	Sens 1	53	3	13437	2266		
	Sens 2	41	1	13028	997		
RTM3	Sens 1	221	14	17875	1284	0,149	0,028
	Sens 2	203	5	18621	982	0,129	0,014



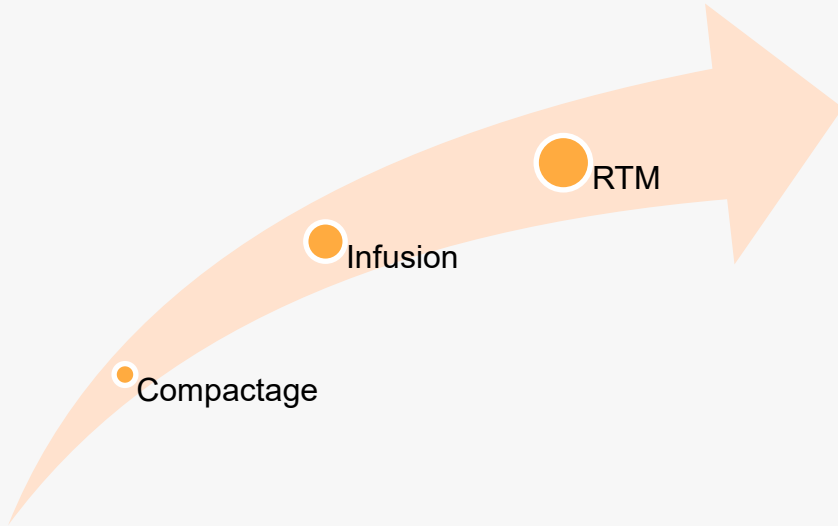
# Propriétés mécaniques initiales

Comportement en flexion NF EN ISO 14 125

Matériau	Contrainte maximale ou première rupture (MPa)		Module (MPa)	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
T RTM NC 1_Sens TRAME	148,7	83,0	11022	2436
T RTM NC 1_Sens CHAINE	104,4	18,3	11005	767
T RTM NC 1_Orientation +/- 45°	101,6	11,9	12178	327
CPT 1_Sens TRAME	99,6	13,0	10447	184
CPT 1_Sens CHAINE	42,4	2,7	7002	108
CPT 1_Orientation +/45°	67,3	5,4	7198	851
INFU 1_Sens 1	84,6	10,3	6711	140
INFU 1_Sens 2	86,8	8,1	6666	464
INFU 1_Orientation +/45°	44,7	0,7	2941	128
Infu 2_Sens 1	76,3	10,1	6725	531
Infu 2_Sens 2	102,7	8,8	7348	556
Infu 2_Orientation +/45°	56,1	3,0	3799	131
RTM 3_Sens 1	147,5	8,1	10062	295
RTM 3_Sens 2	165,3	7,3	11136	101
RTM 3_Orientation +/45°	non réalisé	non réalisé	non réalisé	non réalisé

# Propriétés mécaniques initiales

Comportement en Cisaillement NF EN 14 130



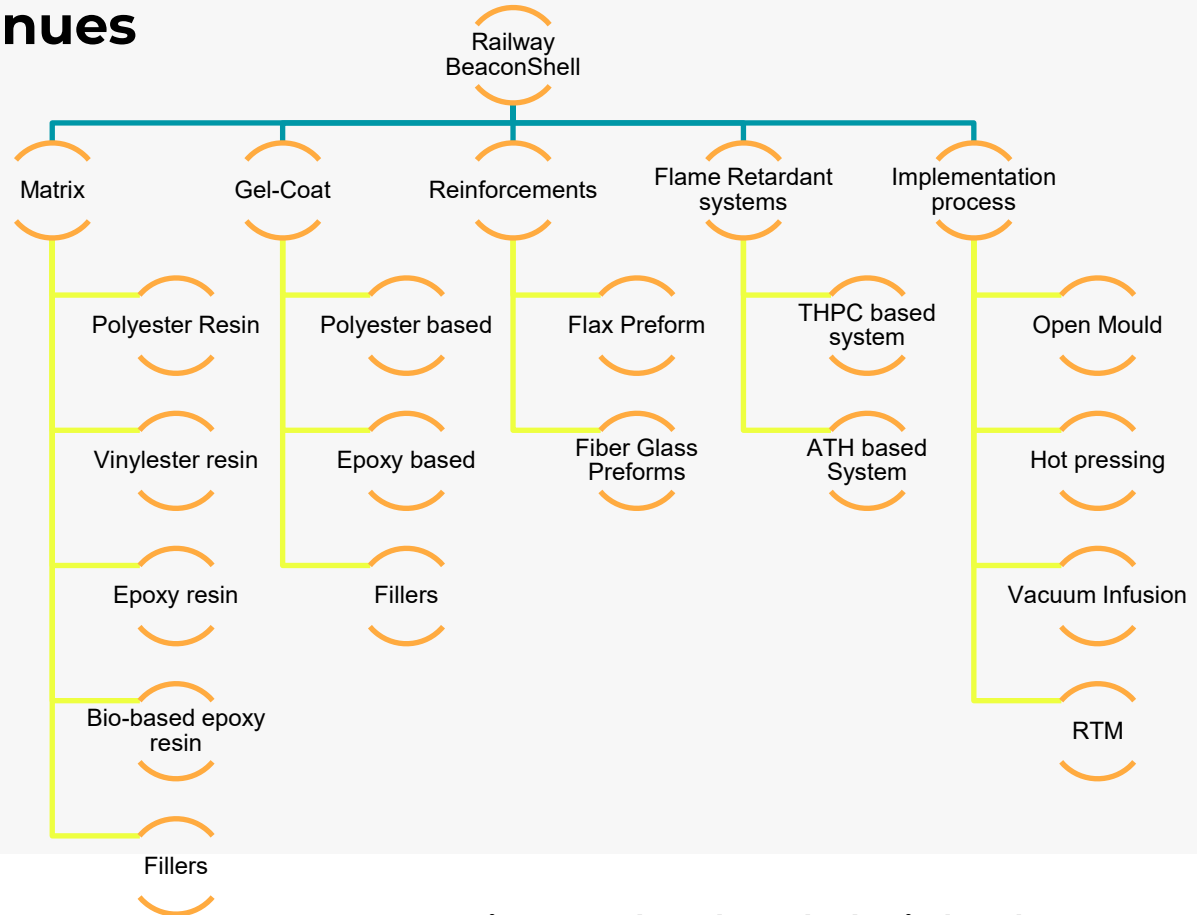
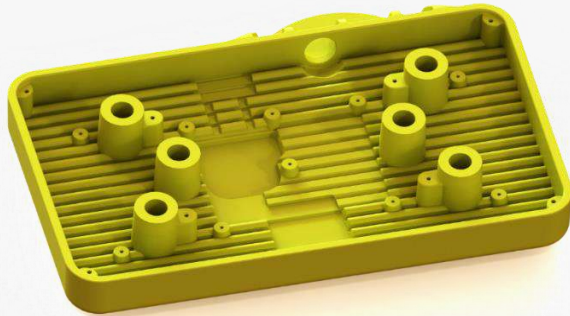
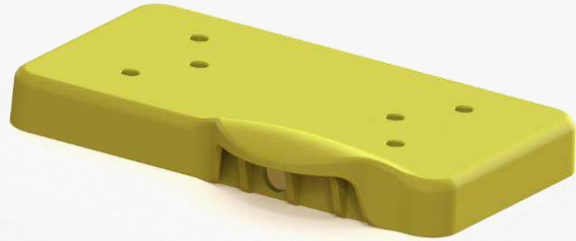
Ref	Results	Flexural Strength	Shear Strength	Failure Mode
		MPa	MPa	
CPT 1		79.0	7.8	Shear
		58.6	5.9	Shear
		99.9	10.0	Tensile
		83.9	8.4	Tensile
		80.3	7.9	Shear
	<b>Mean</b>	<b>80.3</b>	<b>8.0</b>	
INFU 1		125.8	12.4	Shear / tensile
		113.0	11.1	Shear / tensile
		127.5	12.3	Shear / tensile
		136.3	14.0	Shear / tensile
		126.4	13.0	Shear / tensile
	<b>Mean</b>	<b>125.8</b>	<b>12.6</b>	
INFU 2		93.8	9.2	Shear / tensile
		89.5	8.8	Tensile
		89.6	8.8	Shear / tensile
		84.4	8.1	Shear / tensile
		88.2	8.5	Shear / tensile
	<b>Mean</b>	<b>89.1</b>	<b>8.7</b>	
RTM3		200.6	21.2	Tensile
		204.2	21.1	Tensile
		205.5	21.4	Tensile
	<b>Mean</b>	<b>203.4</b>	<b>21.2</b>	

# ACV : Vaste Problème ?

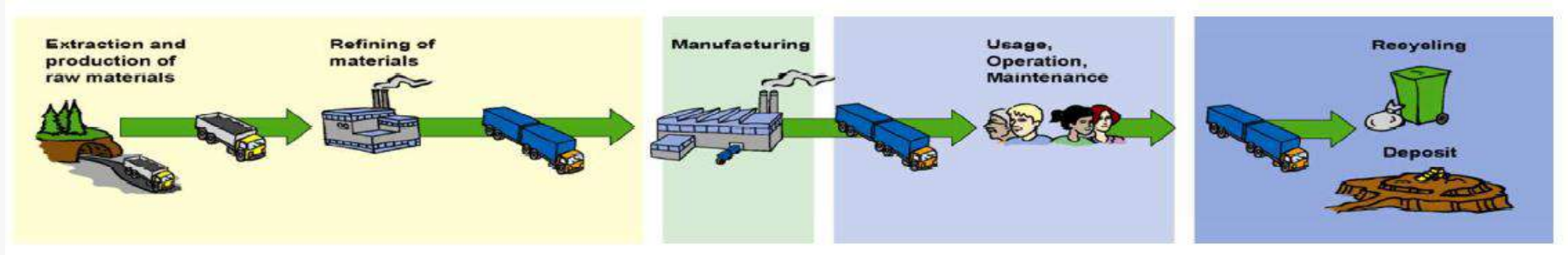




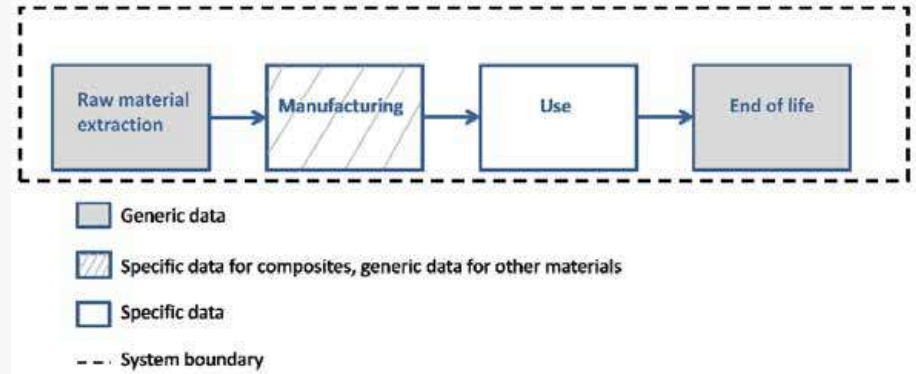
# ACV des solutions retenues



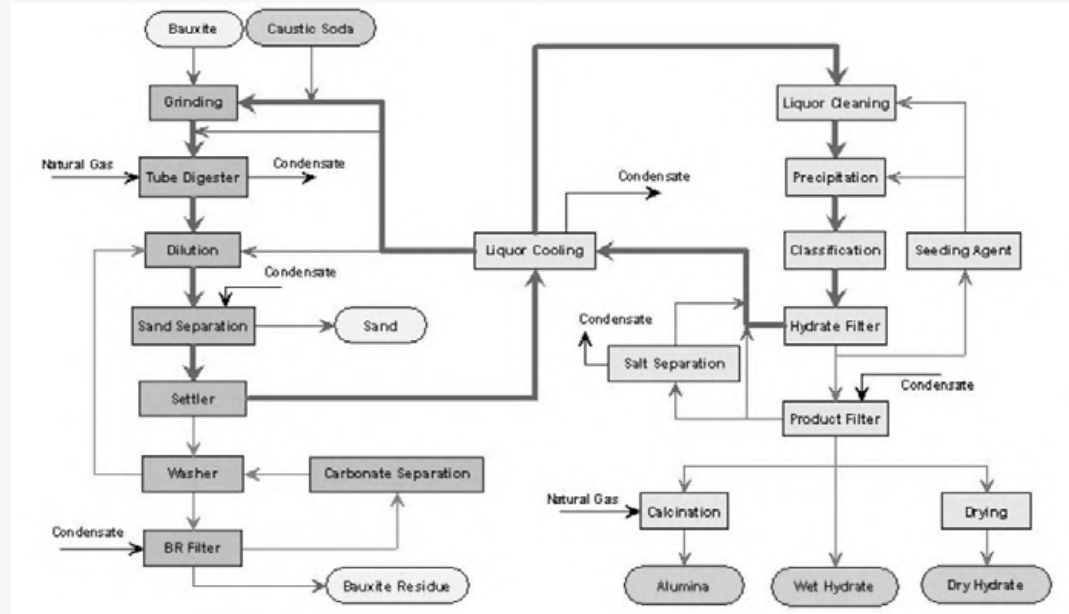
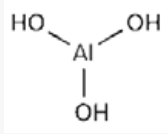
# ACV - Périmètre



- FU : 15 000 railway beacon shells / year
- Whole life cycle impact over 10 years
- Economical Allocation Criteria
- System model : Cut-Off

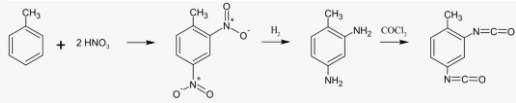
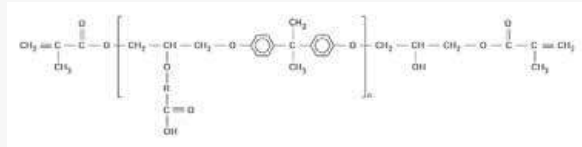


# ACV Solution SMC VinylEster / FV

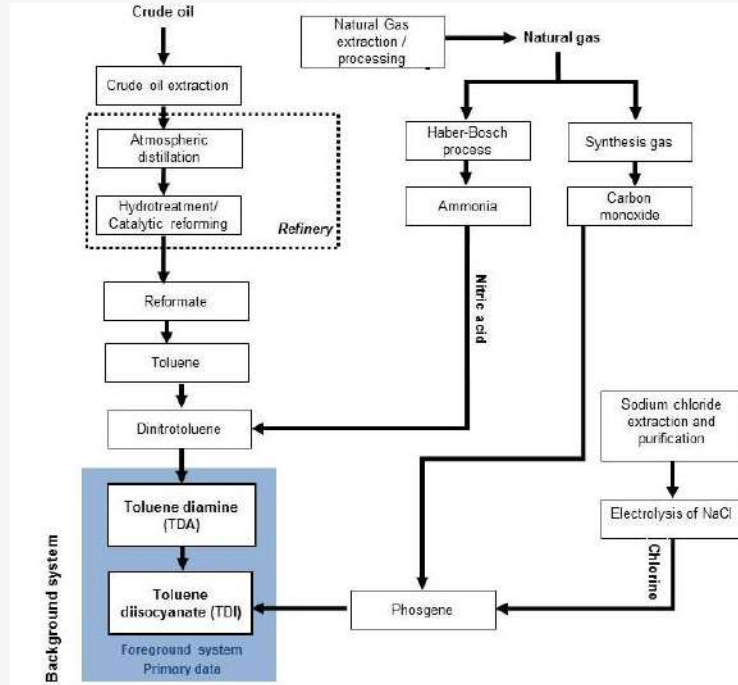




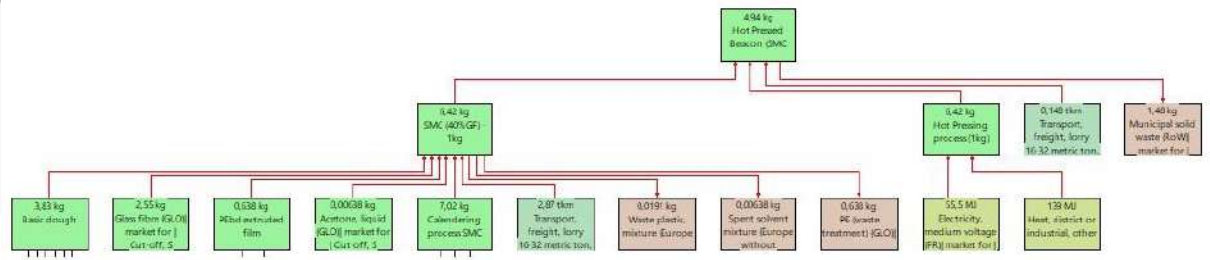
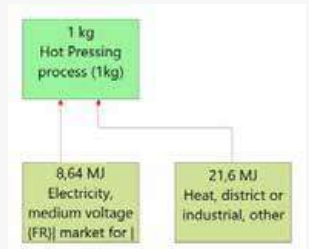
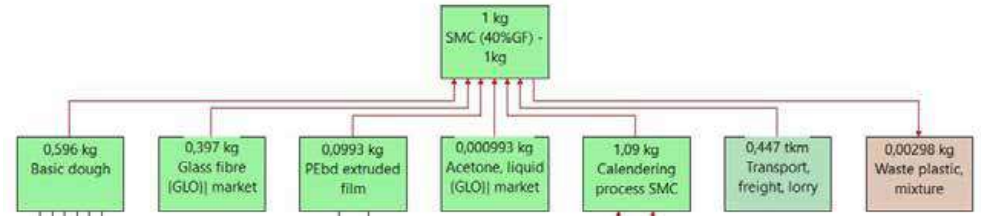
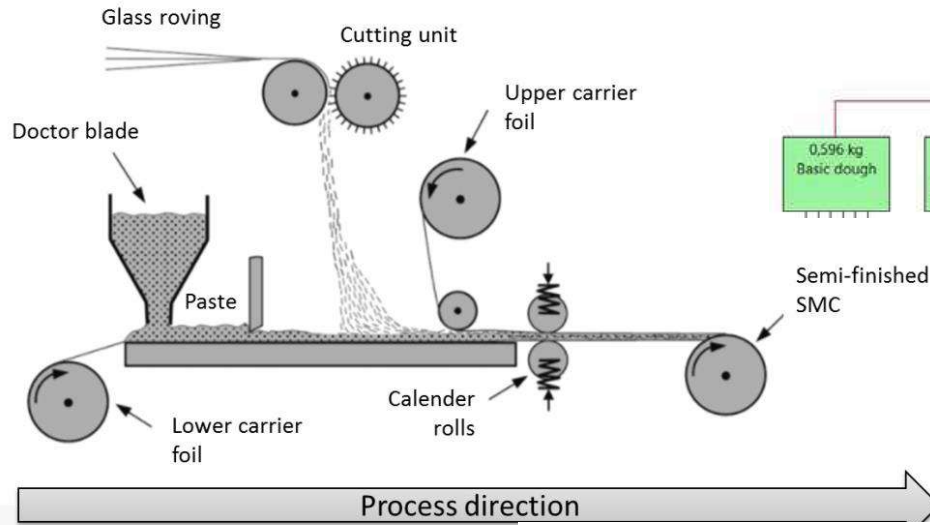
# ACV Solution SMC VinylEster / FV



TDI Toluène Diisocyanate

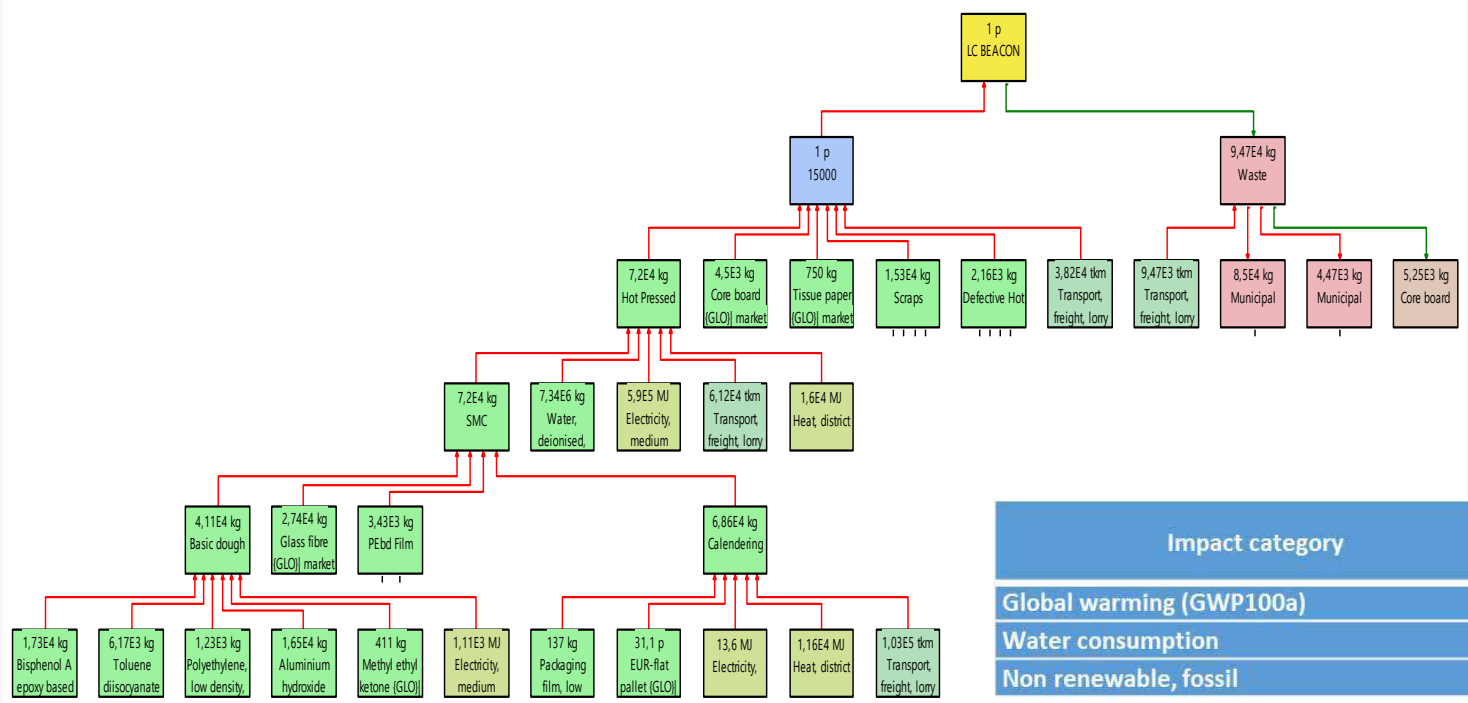


# ACV Solution SMC VinylEster / FV



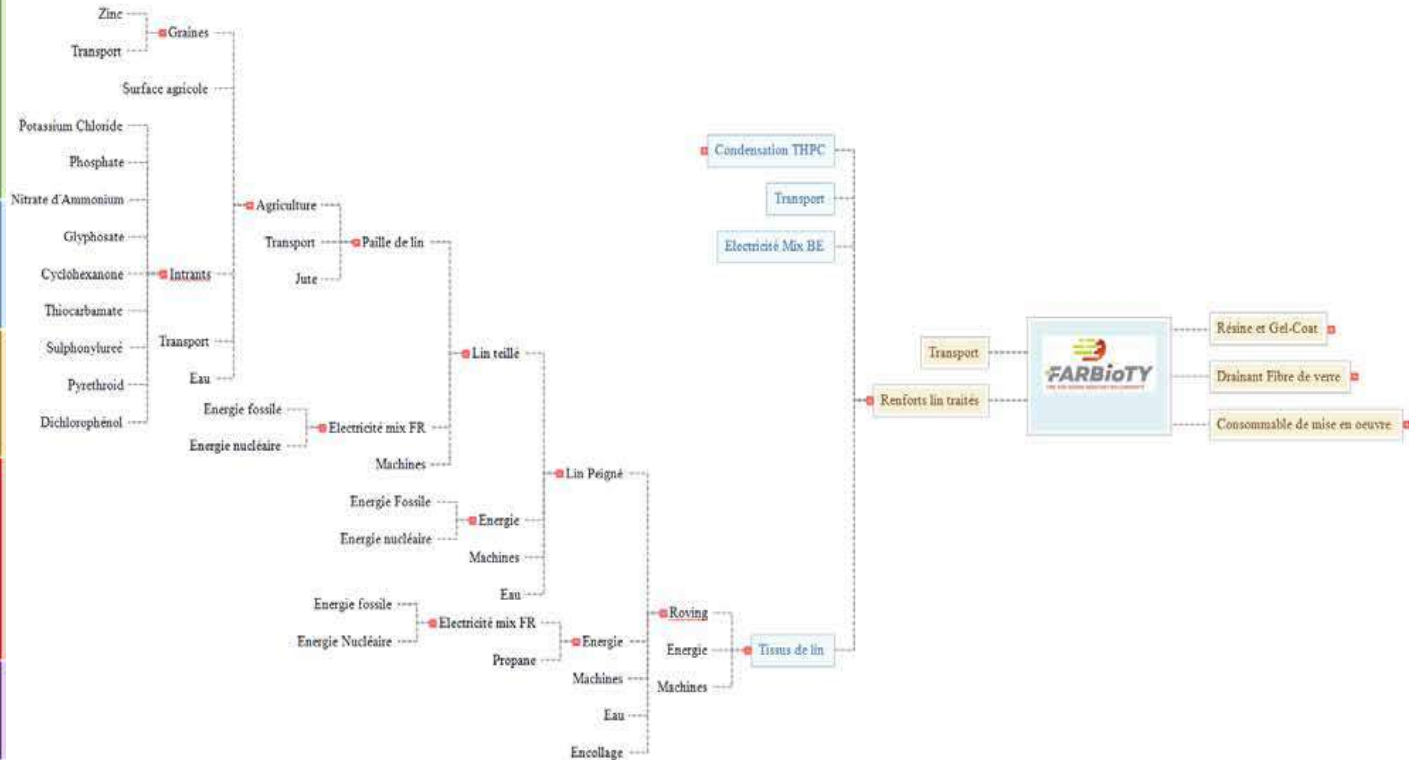
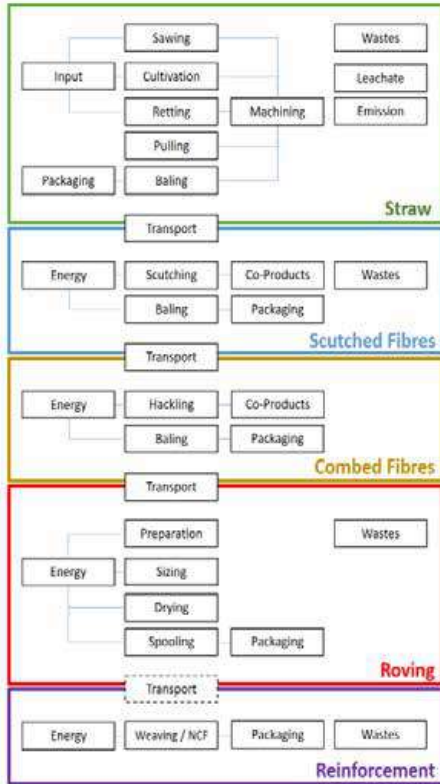
Eco-conception & Analyse de cycle de vie (ACV) – 23.11.23

# ACV Solution SMC VinylEster / FV

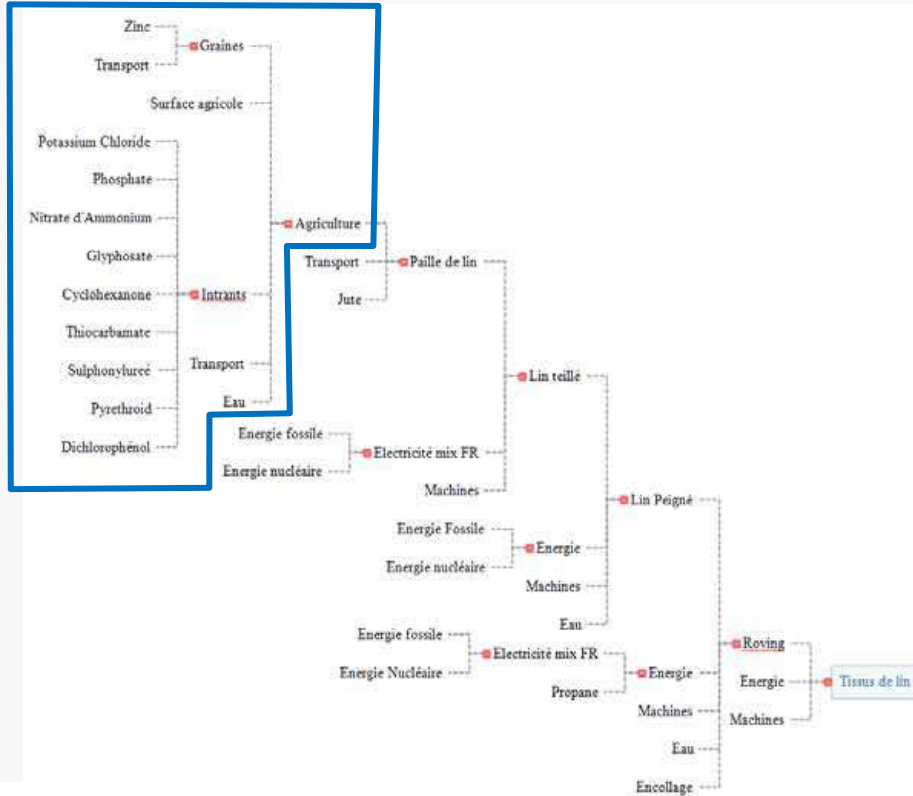


Impact category	Total	
Global warming (GWP100a)	777 900	kg CO <sub>2</sub> eq
Water consumption	627	m <sup>3</sup>
Non renewable, fossil	9 399 000	MJ

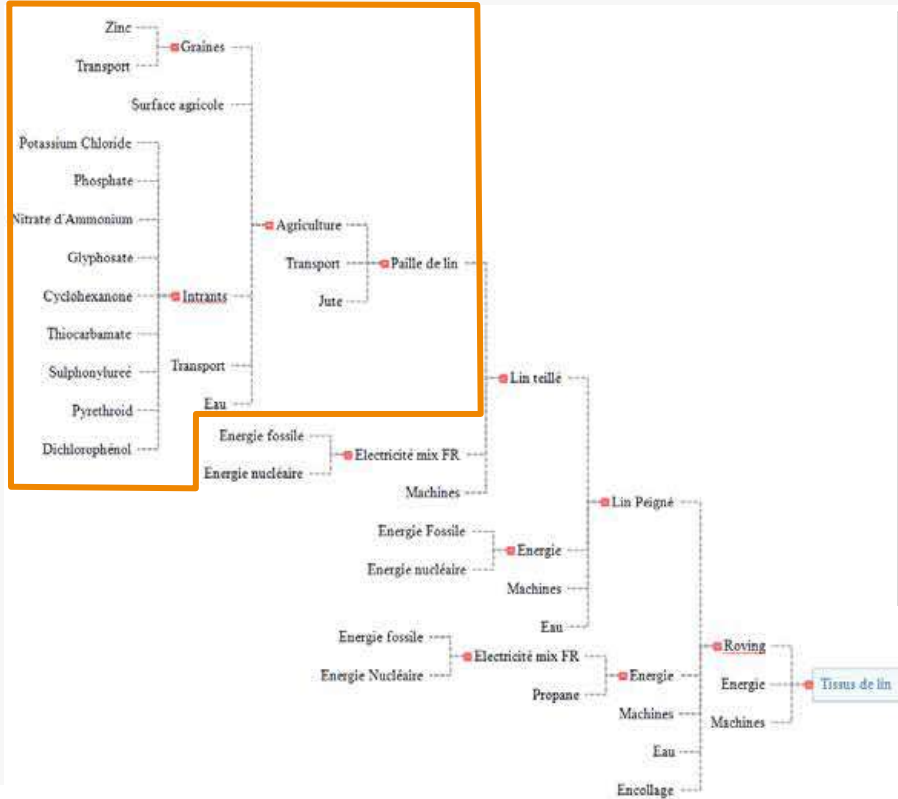
# ACV – Inventaire – Renfort Lin



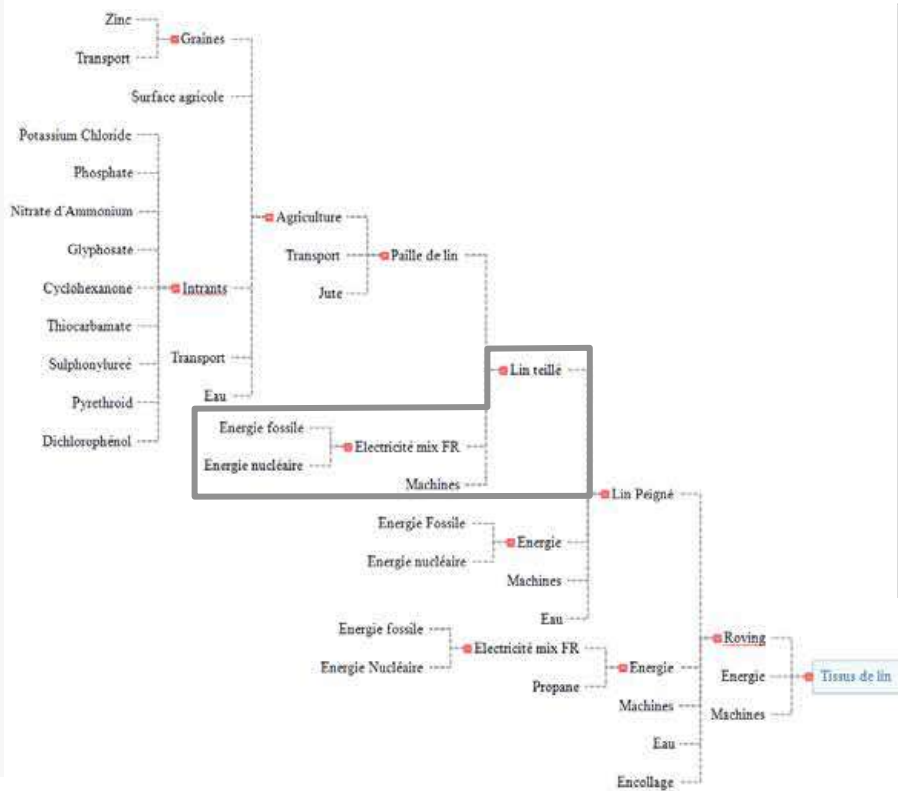
# ACV – Inventaire – Renfort Lin



# ACV – Inventaire – Renfort Lin

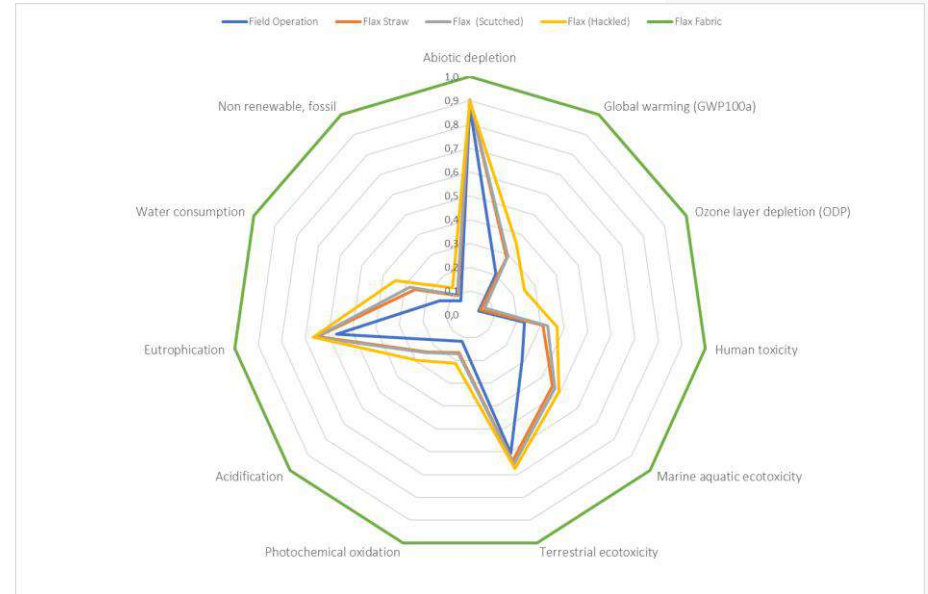
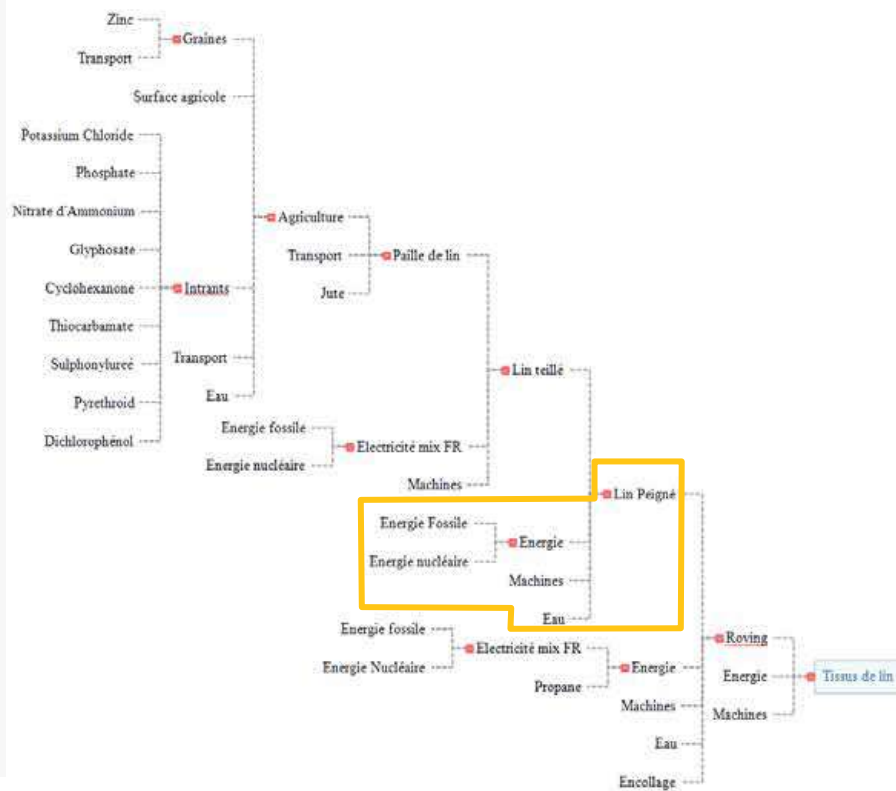


# ACV – Inventaire – Renfort Lin

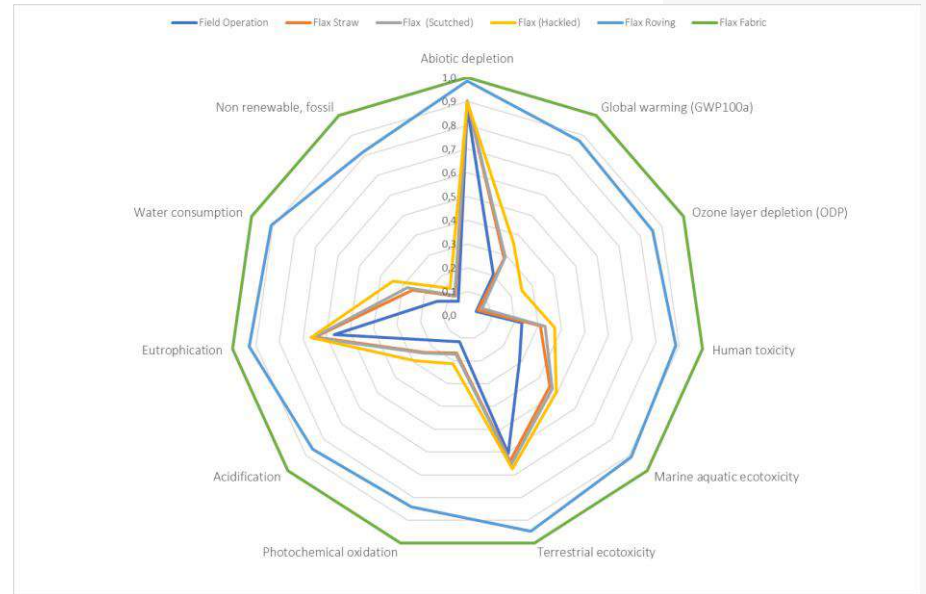
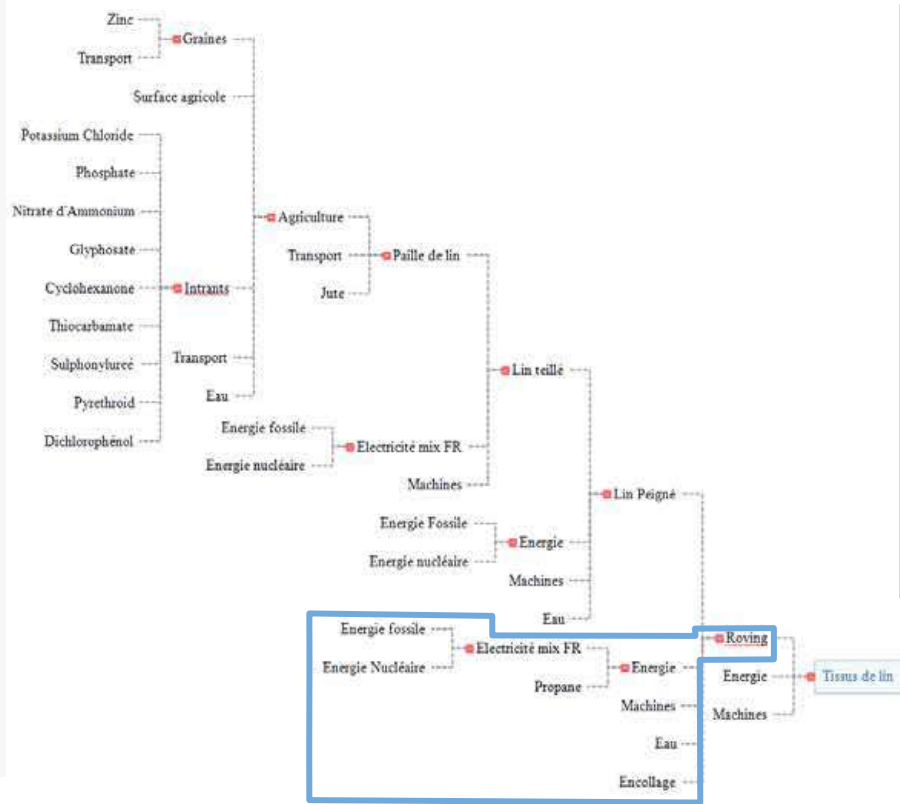




# ACV – Inventaire – Renfort Lin



# ACV – Inventaire – Renfort Lin

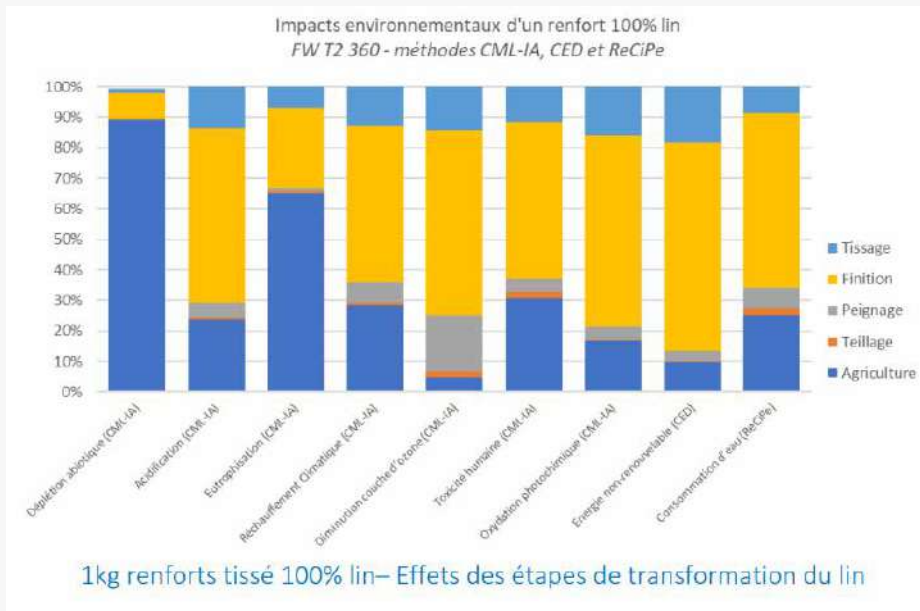


# ACV — Renfort Lin

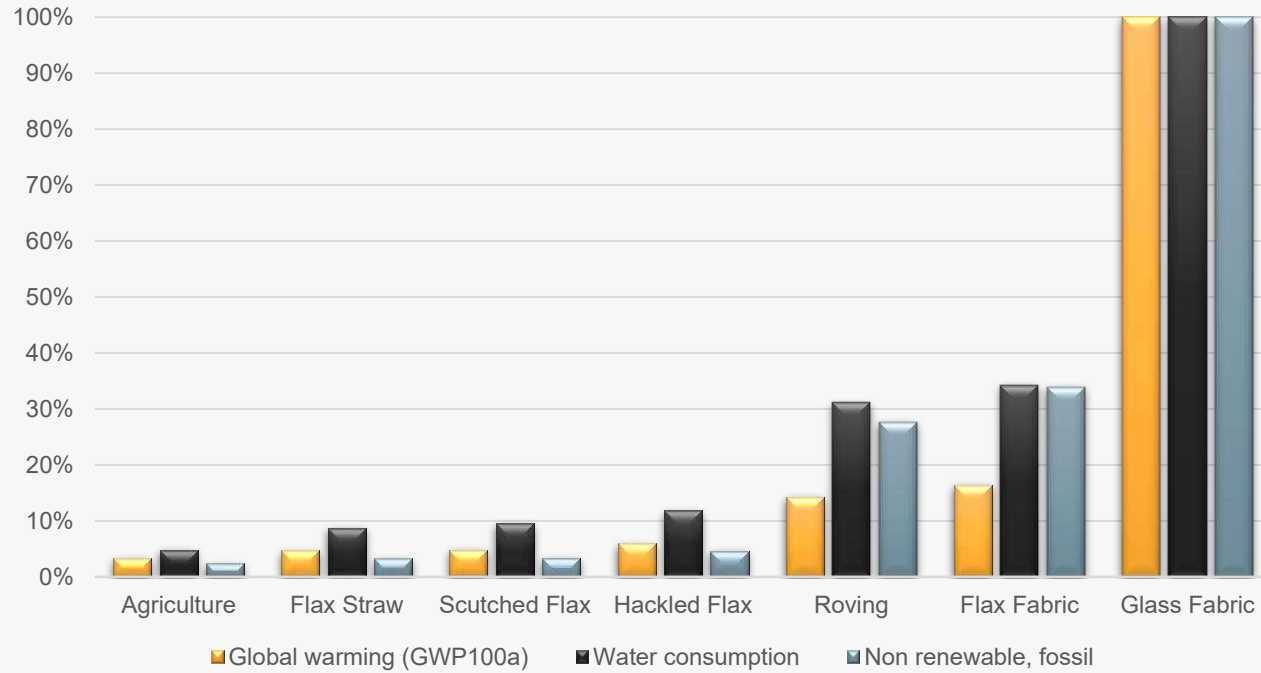


# ACV – Renfort Lin

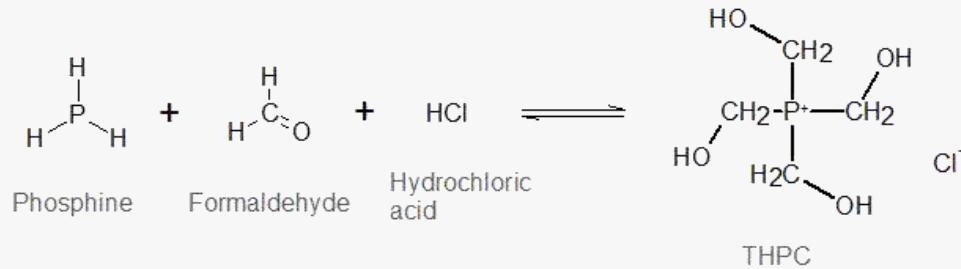
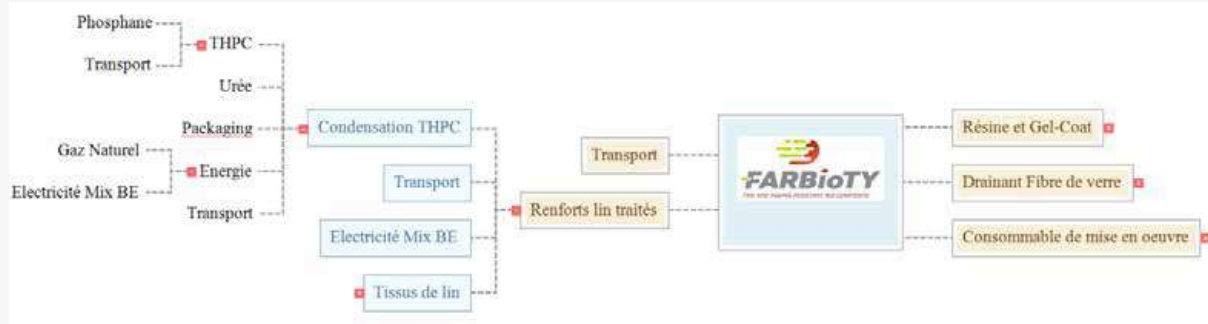
Impact category	Unit	Agriculture	Flaxstraw	scutched	hackled	Roving	fabric	Glass fabric
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,6E-06	3,7E-06	3,8E-06	3,7E-06	4,1E-06	4,2E-06	1,2E-05
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1,1E+00	1,5E+00	1,5E+00	2,1E+00	1,2E+01	1,5E+01	4,4E+01
Global warming (GWP100a)	kg CO <sub>2</sub> eq	9,8E-02	1,4E-01	1,4E-01	1,7E-01	4,2E-01	4,8E-01	2,9E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,3E-08	1,5E-08	2,2E-08	8,1E-08	2,8E-07	3,2E-07	4,8E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	5,3E-02	7,2E-02	7,6E-02	8,6E-02	2,1E-01	2,3E-01	2,3E+00
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,4E+02	2,2E+02	2,2E+02	2,3E+02	4,3E+02	4,7E+02	4,1E+03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,1E-03	2,2E-03	2,3E-03	2,4E-03	3,3E-03	3,5E-03	5,3E-03
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,3E-05	3,4E-05	3,5E-05	4,3E-05	1,7E-04	2,0E-04	7,8E-04
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	4,6E-04	6,8E-04	6,9E-04	8,3E-04	2,4E-03	2,8E-03	1,8E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	6,7E-04	7,6E-04	7,7E-04	7,8E-04	1,1E-03	1,2E-03	4,4E-03
Water consumption	m <sup>3</sup>	1,3E-03	2,3E-03	2,5E-03	3,1E-03	8,3E-03	9,1E-03	2,7E-02
Non renewable, fossil	MJ	1,1E+00	1,6E+00	1,6E+00	2,2E+00	1,3E+01	1,6E+01	4,8E+01



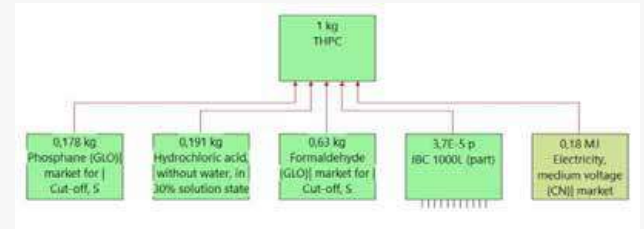
# ACV – Renfort Lin



# ACV – Renfort Lin traité FR



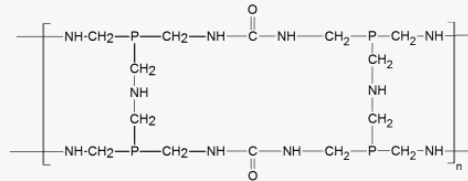
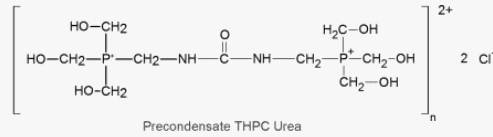
Chlorure de Tetrakis(hydroxyméthyl)phosphonium



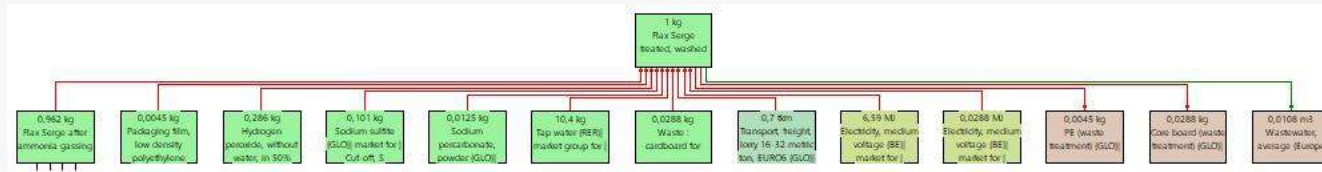
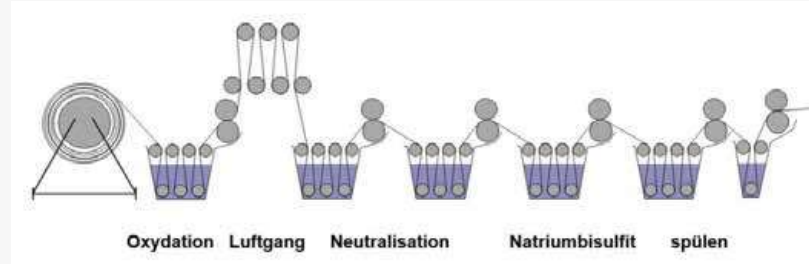
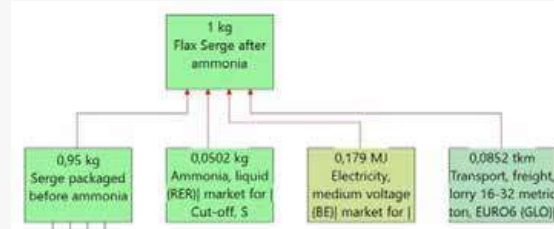




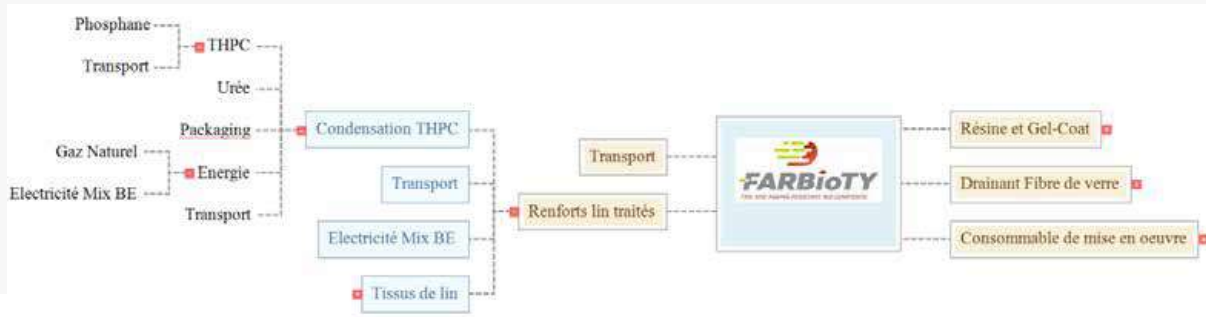
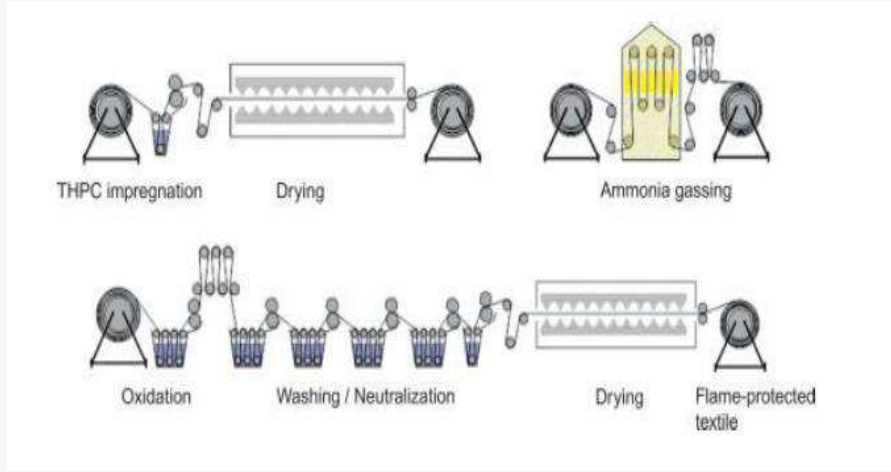
# ACV – Renfort Lin traité FR



Crosslinked THPC



# ACV – Renfort Lin traité FR



# ACV – Renfort Lin traité FR

# Inventaire des résines et des procédés

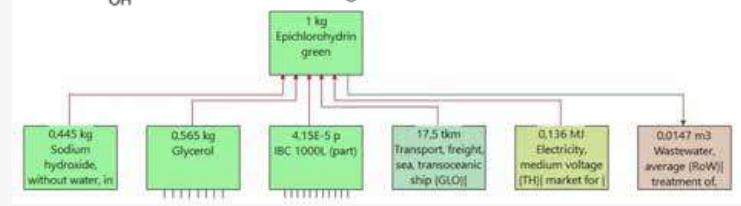
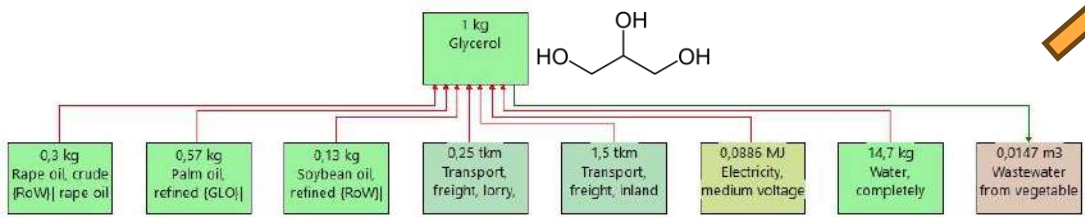
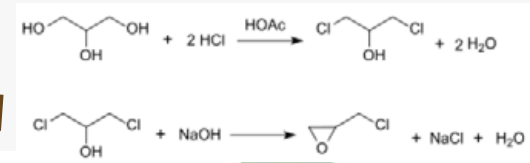
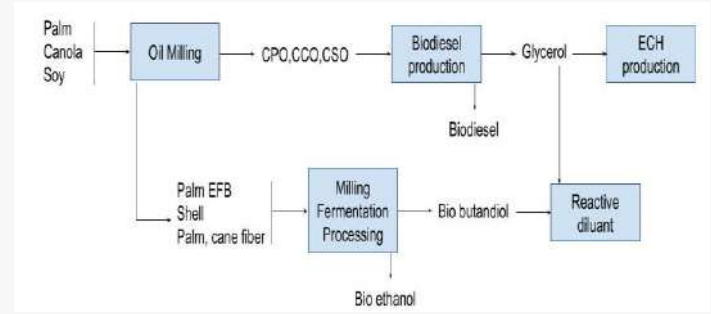
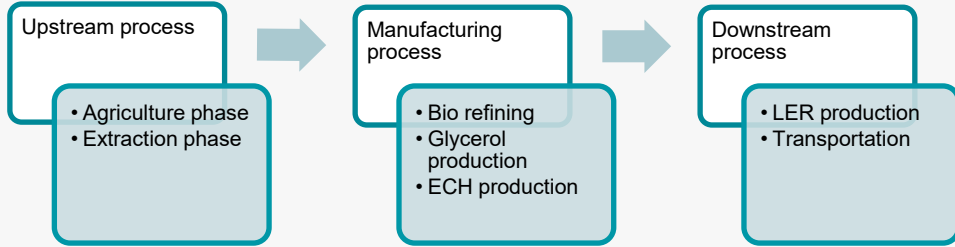
## **Le composant existe dans une base de données ?**

- Analyser la qualité des données et utiliser les éléments disponibles

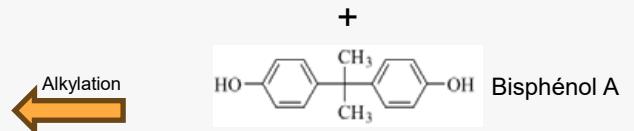
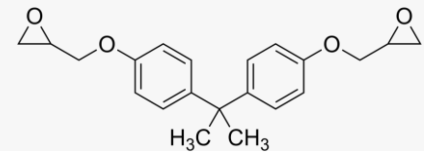
## **Le composant n'existe pas dans une base de données fiable ?**

- Réaliser un synoptique complet des procédés de fabrication
- Identifier les principales routes de synthèse, processus physiques de fabrication
- Déterminer les flux physiques de matières (transport, conditionnement, ...)
- Etablir des équivalents quand c'est possible

# Système Epoxyde biosourcée



Bisphénol-A-diglycidyléther (BADGE)



Alkylation

# Systeme Epoxyde biosourcée

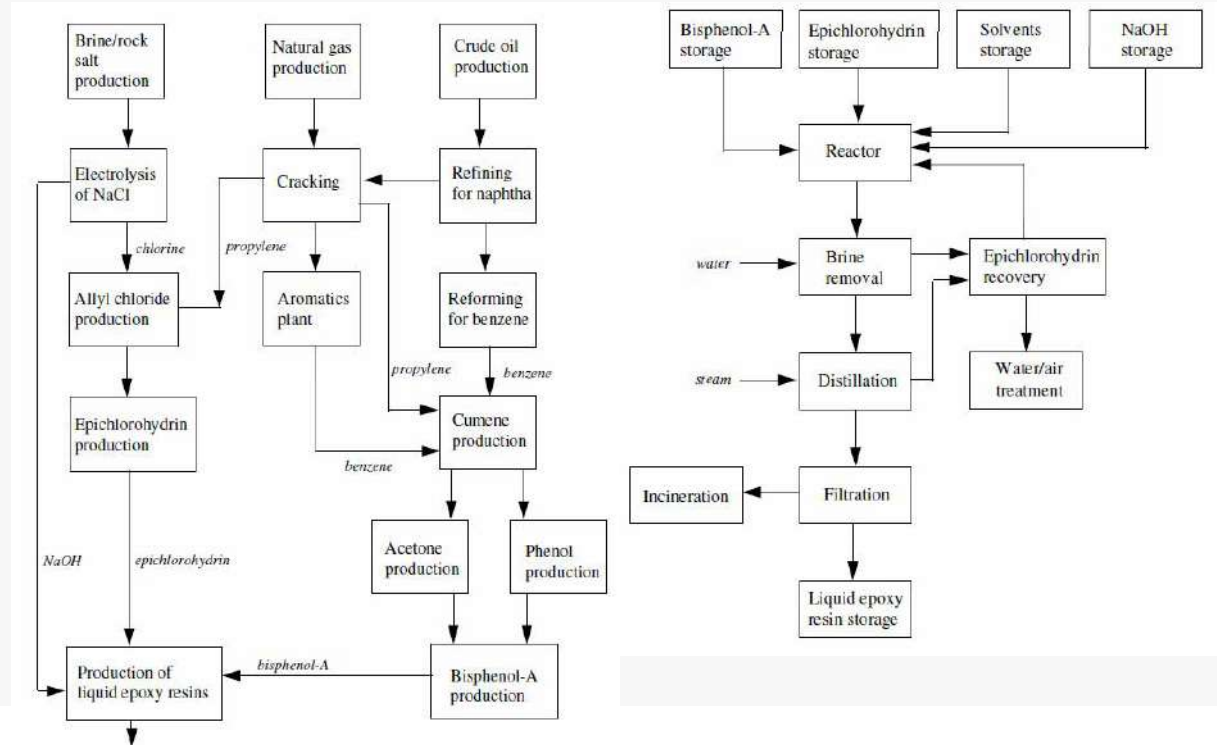
Un inventaire complémentaire est réalisé pour tous les autres constituants de la résine :

- Bisphénol-F-diglycidyléther (BFDGE)
- Diluant : Butyldiglycoléther (BDGE) (pétrosourcé)
- Adjuvants
- Durcisseur (pétrosourcé)
- Charges
- Transports
- Conditionnements
- Déchets
- Emissions

# Systeme Epoxyde pétrosourcée

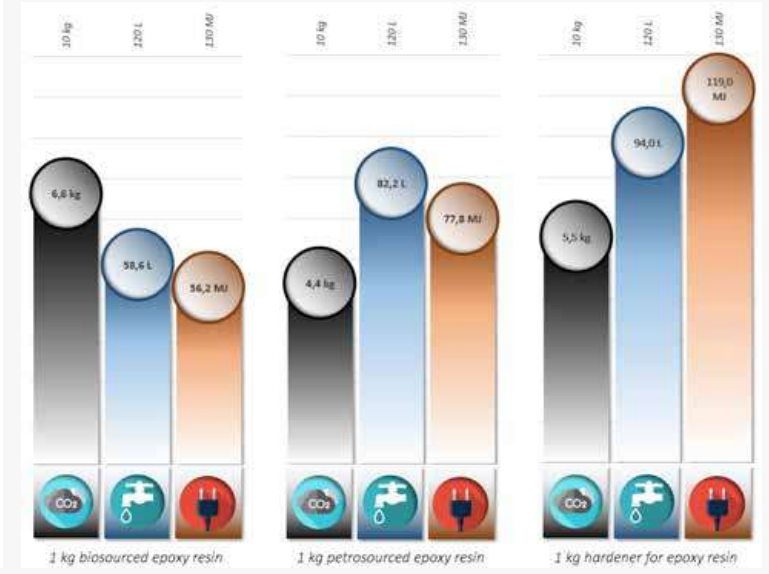
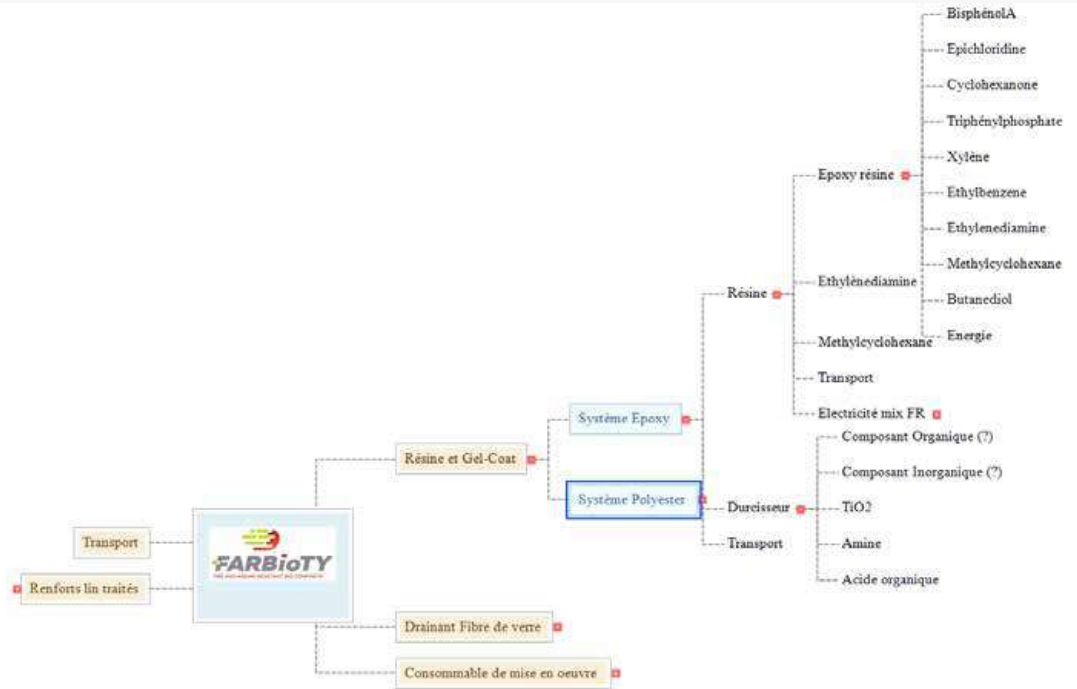
Un inventaire similaire est réalisé pour tous les constituants de la résine :

- Bisphénol-A
- Epichlorohydrine
- Durcisseur
- Adjuvants
- Charges
- Transports
- Conditionnements
- Déchets
- Emissions





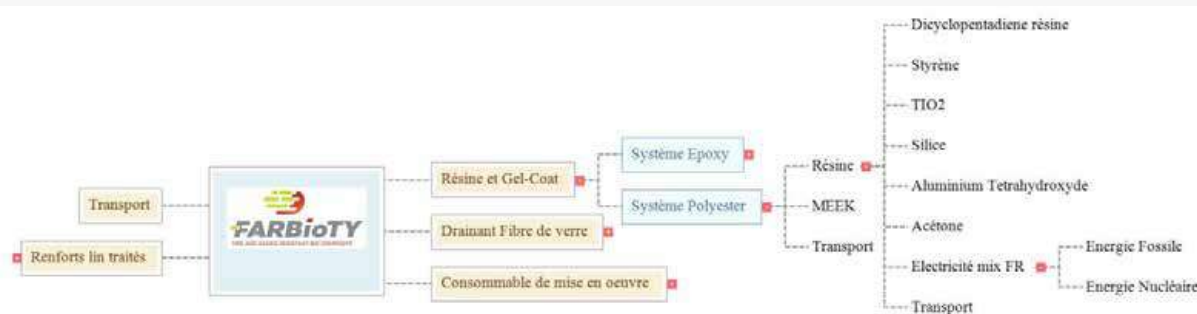
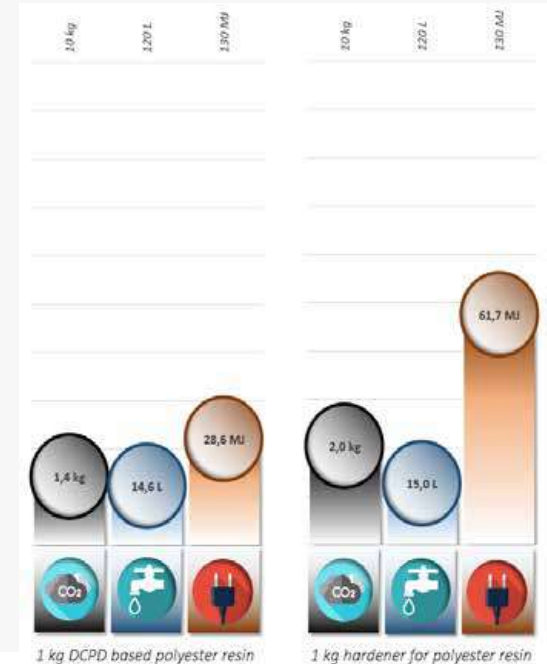
# Systeme Epoxyde



# Système Polyester

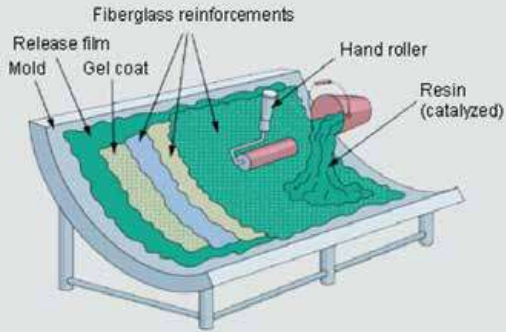
Un inventaire similaire est réalisé pour tous les constituants de la résine :

- Résine dicyclopentadiène polyester insaturée (DCPD UP)
- Résine Orthophtalique (gel-coat)
- Durcisseur (METK Péroxydes)
- Charges
- Transports
- Conditionnements
- Déchets
- Emissions

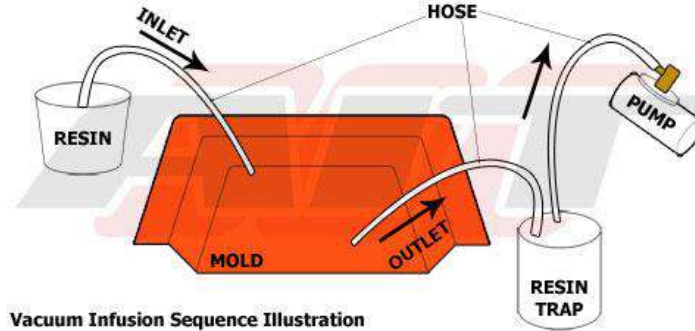


# Mise en Œuvre

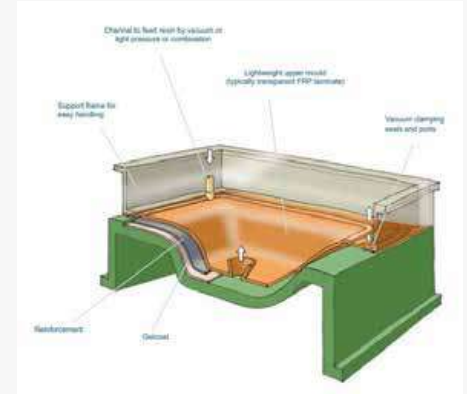
Imprégnation Contact & compaction



Infusion



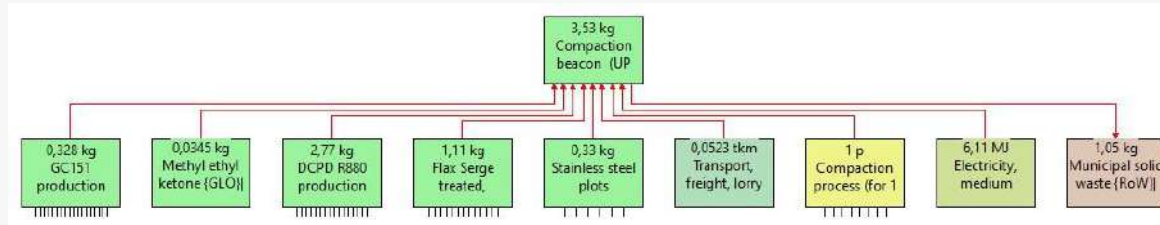
RTM



# Mise en Œuvre

## Imprégnation Contact & compaction

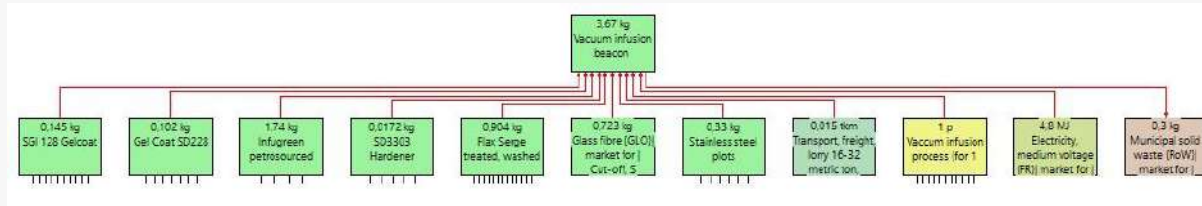
Mass balance	Compaction			
Gelcoat system	<b>Material</b>	<i>GC 151</i>		
		<i>Part</i>	<i>Production</i>	<i>Waste flow</i>
	Quantity (g)	321,635	328,068	6,433
	Hardener	<i>M50</i>		
	Quantity (g)	6,153	6,276	0,123
	<b>Total (g)</b>	<b>327,788</b>	<b>334,344</b>	<b>6,556</b>
Matrix resin system	Resin	<i>R880/2</i>		
	Quantity (g)	2010,921	2771,049	760,128
	Hardener	<i>M50</i>		
	Quantity (g)	20,137	27,749	7,612
	<b>Total (g)</b>	<b>2031,058</b>	<b>2798,798</b>	<b>767,740</b>
Fibrous reinforcements	Flax (g)	839,049	1111,488	272,439
	Glass fibres (g)	0,000	0,000	0,000
Plots/inserts	Stainless steel	330,000	330,000	0,000
<b>Total</b>	<b>(g/beacon)</b>	<b>3527,895</b>	<b>4574,630</b>	<b>1046,735</b>
<b>Weight gain (in %, comparing to hotpressing)</b>	<b>28,6%</b>			



# Mise en Œuvre

## Infusion

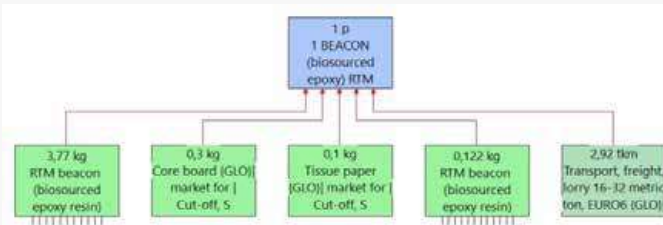
Mass balance	Vacuum infusion 1 (biosourced epoxy) &2 (petrosourced epoxy)			
Gelcoat system	<b>Material</b>	<i>SGi128 green</i>		
		<i>Part</i>	<i>Production</i>	<i>Waste flow</i>
	Quantity (g)	131,451	144,596	13,145
	Hardener	<i>SD 228</i>		
	Quantity (g)	92,295	101,525	9,230
	<b>Total (g)</b>	<b>223,746</b>	<b>246,121</b>	<b>22,375</b>
Matrix resin system	Resin	<i>SR 1125</i>		
	Quantity (g)	1586,362	1744,998	158,636
	Hardener	<i>SD 3303</i>		
	Quantity (g)	15,662	17,228	1,566
	<b>Total (g)</b>	<b>1602,024</b>	<b>1762,227</b>	<b>160,202</b>
Fibrous reinforcements	Flax (g)	839,049	904,214	65,165
	Glass fibres (g)	671,239	723,371	52,132
Plots/inserts	Stainless steel	330,000	330,000	0,000
<b>Total</b>	<b>(g/beacon)</b>	<b>3666,059</b>	<b>3965,933</b>	<b>299,874</b>
<b>Weight gain (in %, comparing to hotpressing)</b>	<b>25,8%</b>			



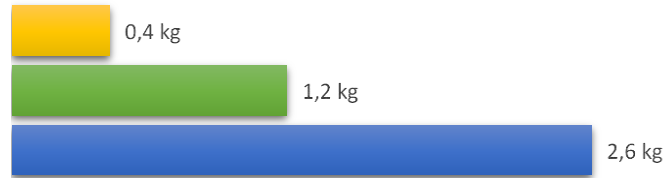
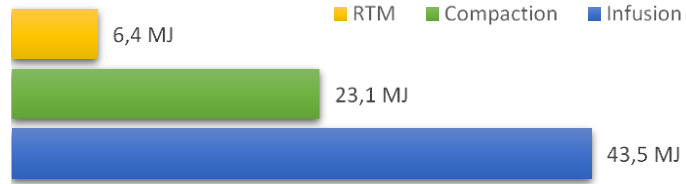
# Mise en Œuvre

RTM

Mass balance	Light RTM			
Gelcoat system	<b>Material</b>	<i>Sgi128 green</i>		
		<i>Part</i>	<i>Production</i>	<i>Waste flow</i>
	Quantity (g)	131,451	144,596	13,145
	Hardener	<i>SD 228</i>		
	Quantity (g)	92,295	101,525	9,230
	<b>Total (g)</b>	<b>223,746</b>	<b>246,121</b>	<b>22,375</b>
Matrix resin system	Resin	<i>SR 1125 (biosourced epoxy)</i>		
	Quantity (g)	1425,265	1567,791	142,526
	Hardener	<i>SD 3303</i>		
	Quantity (g)	199,414	219,355	19,941
	<b>Total (g)</b>	<b>1624,679</b>	<b>1787,146</b>	<b>162,468</b>
Fibrous reinforcements	Flax (g)	419,525	452,107	32,583
	Glass fibres (g)	1174,669	1265,900	91,231
Inox plot	Stainless steel	330,000	330,000	0,000
Beacon total	(g/beacon)	3772,618	4081,274	308,656
Weight gain (in %, comparing to hotpressing)	23,6%			

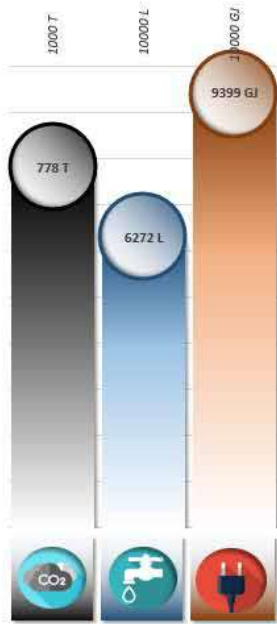


# Mise en Œuvre

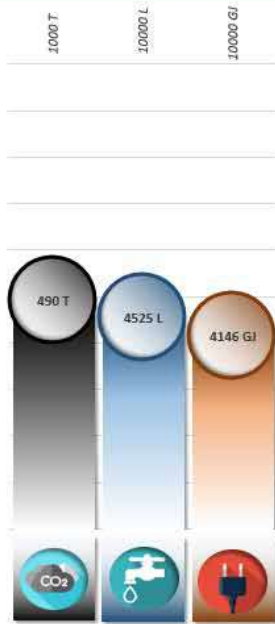




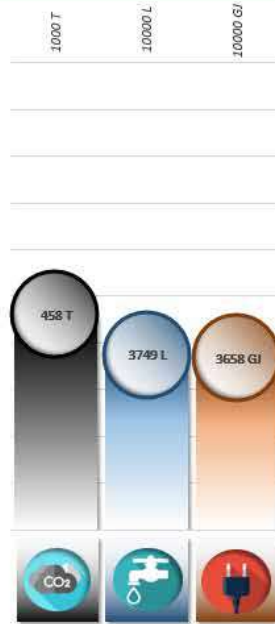
# Bilan ACV 15 0000 balises / an



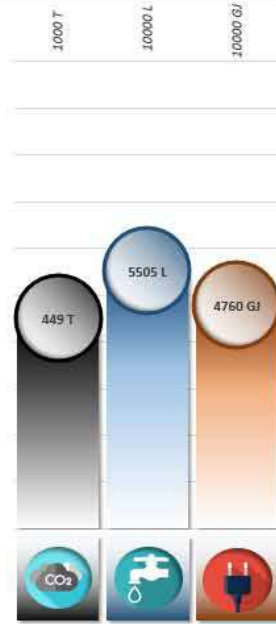
Actual Solution



INFU1 Epoxy Biosourced



RTM3 Epoxy biosourced



INFU2 Epoxy petrosourced



CPT1 Polyester



# Et le vieillissement ?

Vieillissement UV NF EN ISO 4892-2 méthode A – Comportement mécanique en flexion (3000 h / cycle 102 mn +18 min eau)

Echantillon	Initial		Après 1500h		Après 3000h	
Echantillon	Module (MPa)	Résistance (MPa)	Module (MPa)	Résistance (MPa)	Module (MPa)	Résistance (MPa)
Témoin	11000	149	8900	118	10054	119
CPT1	10500	99	4600	61	6500	51
INFU 1	6700	85	6000	95	6300	91
INFU 2	7300	102	5900	100	5100	79
RTM 3	10100	145			10400	154

# Et le vieillissement ?

Vieillissement UV NF EN ISO 4892-2 méthode A – MAHRE (kW/m<sup>2</sup>)

Echantillon	Initial	Après 1500h	Après 3000h
Témoin	120,1	/	123,1
CPT1	93,8	93,7	91,7
INFU 1	115,5	/	170,1
INFU 2	129,9	131,5	176,3
RTM 3	94,4	103,1	106,2

# Et le vieillissement ?

Cyclage Thermique RT 1309/A (5 cycles : 16 h 85°C/95%HR + 3 h 20°C + 6h 85 °C)

## Flexion

Variation of flexural strength or interlaminar shear (%)

Sample	Reference	CPT1	INFU1	INFU2	RTM3
Flexural	-5	12	-32	-38	-26
Shear	-2	14	-30	-36	-23

## Essais au cône calorimètre

Evolution du Mahre

Echantillon	Reference	CPT1	INFU1	INFU2	RTM3
variation	Pas d'effet	-10% à 15%	-10%	-28%	Pas d'effet

**Merci !**  
**Des questions ?**

# L'ACV, un outil de mesure pour respecter les limites planétaires

Régis Janvier



**Karbon Ethic**  
Engageons votre entreprise vers la sobriété



# De quoi parle t'on ?

Utiliser une méthode, l'ACV,  
pour respecter les limites  
planétaires.



# 9 limites Planétaires

- ④ 6 sont déjà considérées comme dépassées
- ④ Elles sont interconnectées

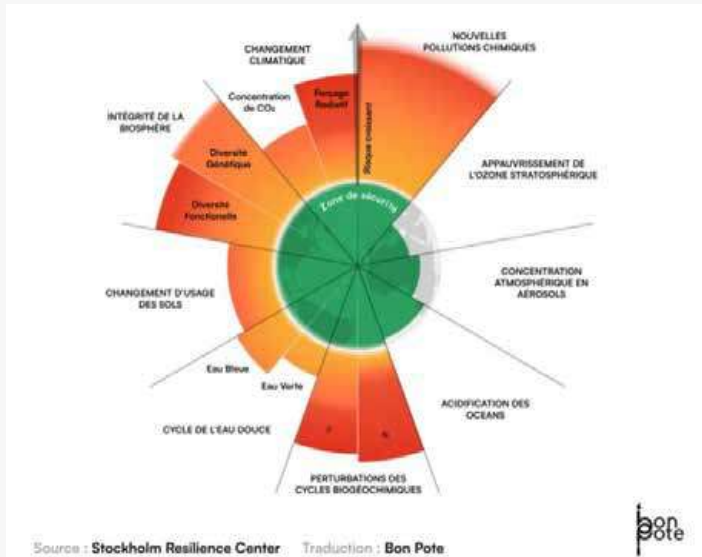
Le changement climatique

➤ influe sur :

- ✓ La perte de biodiversité
- ✓ La disponibilité et répartition de l'eau

➤ dépend de :

- ✓ Le changement d'usage des sols
- A une cause commune avec :
- ✓ L'acidification des Océans (CO<sub>2</sub>)



*« La limite planétaire de l'eau verte peut être représentée par le pourcentage de superficie libre de glace sur laquelle l'humidité du sol de la zone racinaire s'écarte de la variabilité de l'Holocène pour n'importe quel mois de l'année ».*

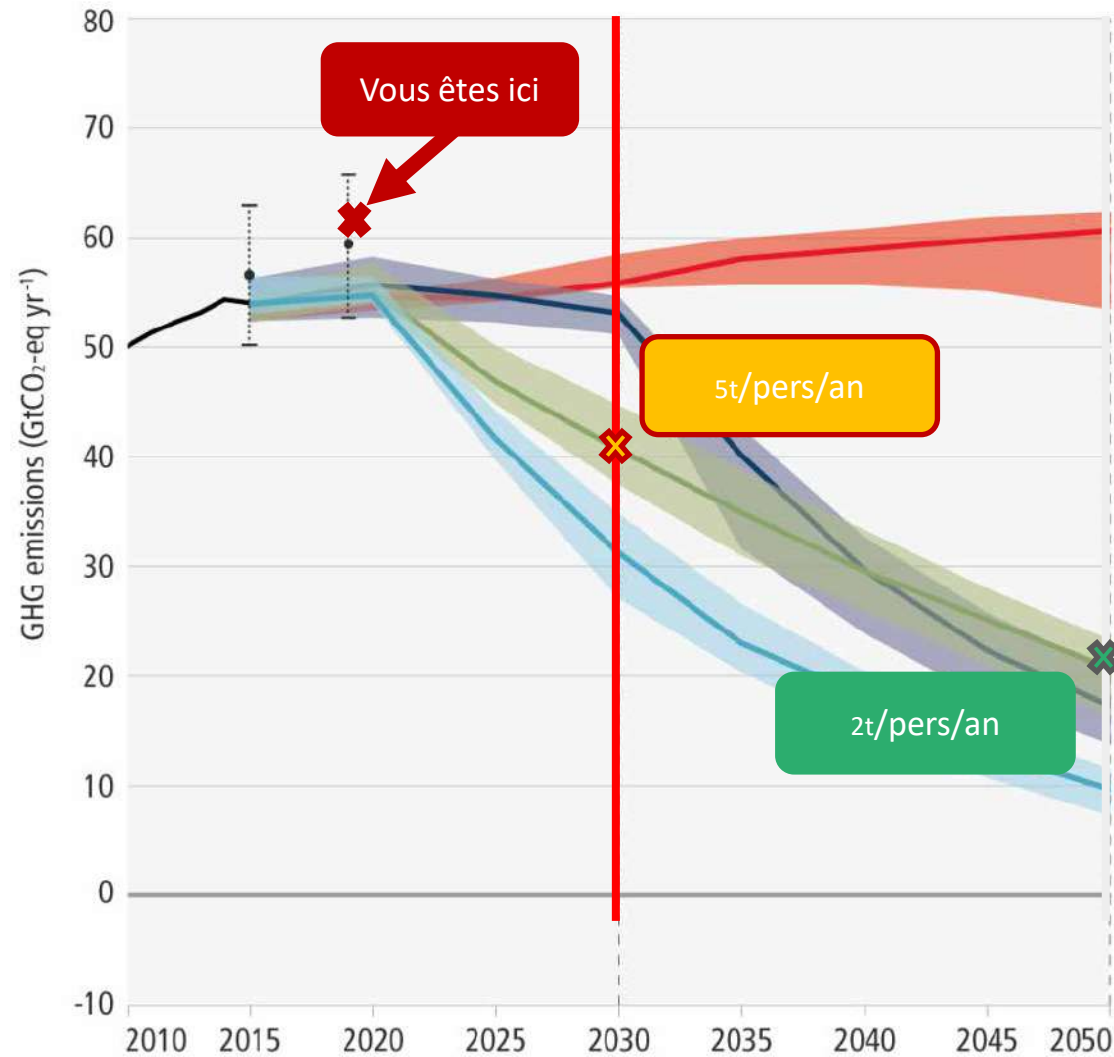
Traduction :

➤ Sécheresses inhabituelles

(été 2022, 2023...)

➤ Inondations inhabituelles

(Nord-Pas de Calais nov 2023)



🌐 L'Accord de Paris :  
 ➤ Rester bien au-dessous des 2°C de réchauffement global

➤ En France, cela revient à diviser par 5 notre empreinte carbone :

✓ D'ici **2030** :  
 passer de **10 à 5** tCO<sub>2</sub>e/an

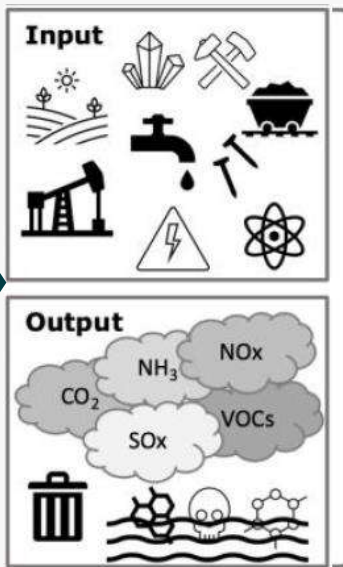
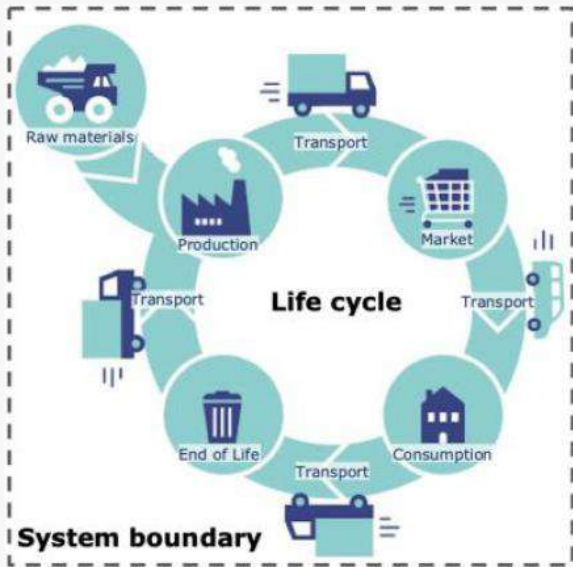
✓ Entre **2030 et 2050** :  
 passer de **5 à 2** tCO<sub>2</sub>e/an

**Soit 10 kg /pers /jour**

pour la consommation personnelle en 2030

# Que permet l'ACV ?

L'ACV d'un produit permet d'en connaître les impacts aux différents stades de son cycle de vie



**K** **Interprétation :**

- Eco conception
- Réglementation...
- Prise en compte des limites...



# Exemples : Les 16 points du PEF



Changement climatique,



Acidification



Toxicité humaine  
(autre que cancer)



Toxicité humaine  
(cancer)



Particules



Rayonnement ionisant



Appauvrissement  
de la couche d'ozone



Formation d'ozone



Eutrophisation  
terrestre



Eutrophisation  
d'eaux douces



Eutrophisation marine



Écotoxicité  
d'eaux douces



Utilisation des terres



Consommation d'eau



Épuisement des ressources  
minérales et métaux



Épuisement des ressources  
matières fossiles

L'ACV permet de mesurer les impacts d'un produit sur son cycle de vie.

- C'est une information indispensable mais non suffisante...

L'ACV ne permet pas de préjuger :

- de la bonne allocation des ressources
- de l'utilité sociétale du produit

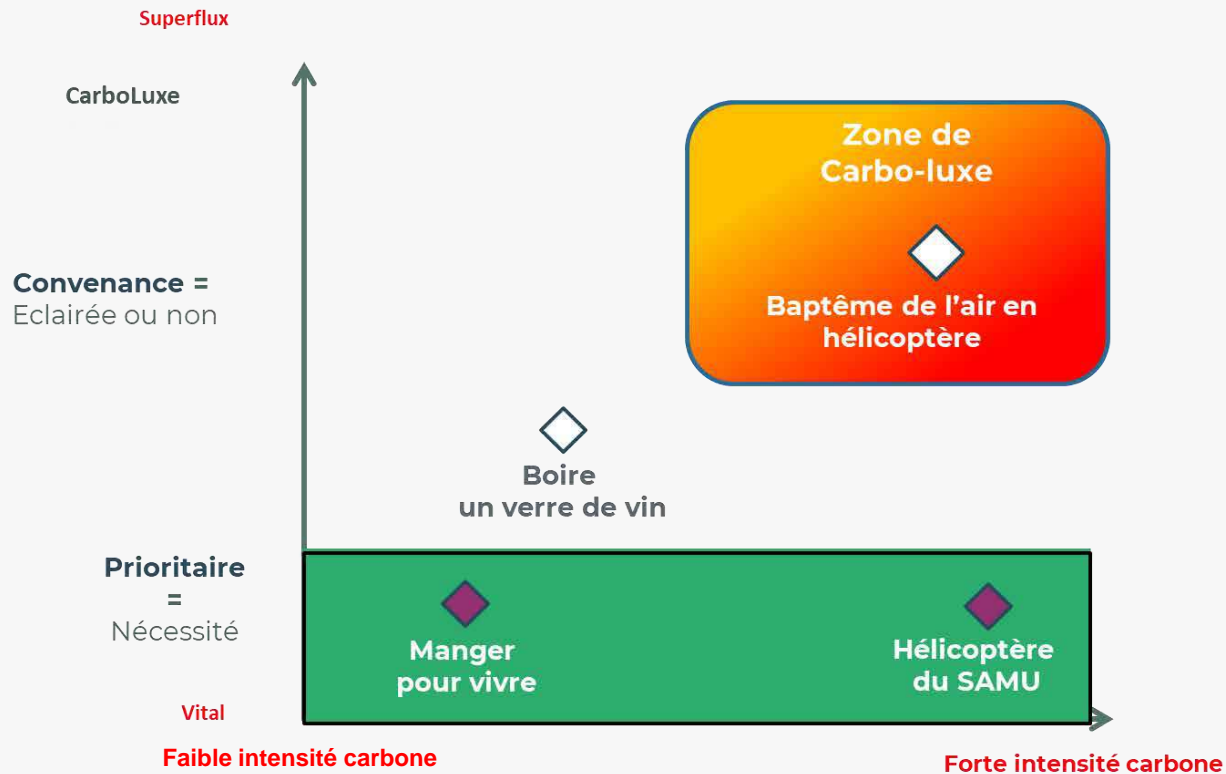


Faut-il utiliser les  
biocarburants pour  
faire voler les avions ?

Ou

Réserver leur usage  
pour faire rouler les  
ambulances et les  
services publics ?







**L'impact carbone comme  
indicateur principal ?**

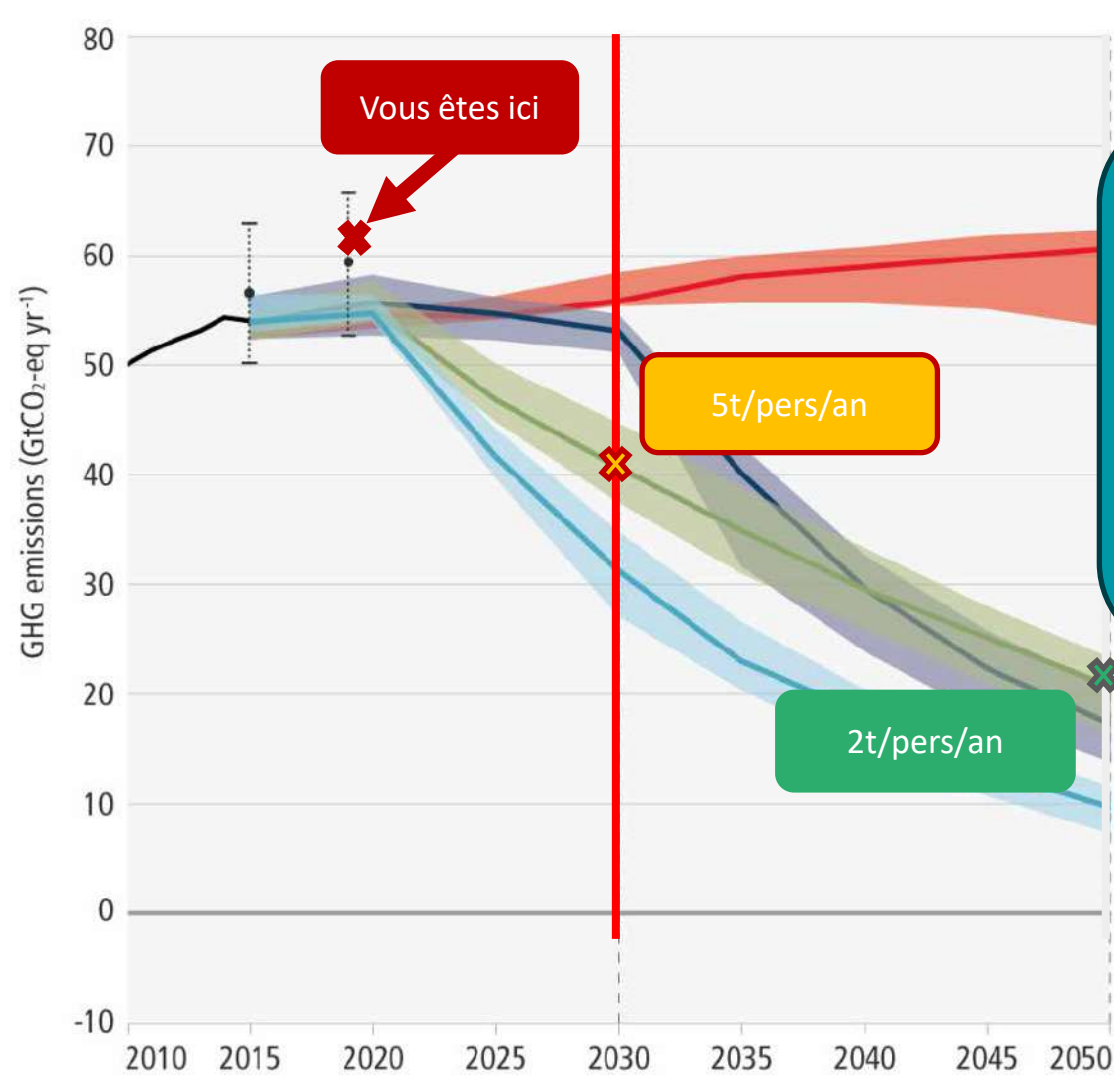
# L'impact carbone comme indicateur ?

Difficulté de communiquer sur plusieurs indicateurs

Besoins de hiérarchiser les impacts

Répond à une urgence

Réduire son impact carbone est très corrélé au respect des autres limites planétaires



La question que tout concepteur de produits devrait se poser :

« Dans un monde qui respecte l'accord de Paris, mes clients continuent-ils à acheter mes produits ? »

10 kg /pers /jour  
pour la consommation personnelle en 2030

**Merci !**  
**Des questions ?**

Merci de  
votre attention



## Contact

02 96 60 96 68

[composite@innozh.fr](mailto:composite@innozh.fr)

[www.innozh.fr/composite/](http://www.innozh.fr/composite/)



Innozh\_composite

### **INNOZH Composite**

IUT de Saint-Brieuc  
18 rue Henri Wallon  
22000 Saint-Brieuc

### **Siège social**

INNOZH – ZOOPOLE développement  
2 rue Jean Rostrand  
22440 Ploufragan