



Livrable n°T4.5.1

4.5.1 Rapport d'analyses de cycle de vie
d'une coque en biocomposite - Life Cycle
Analyses report of the hull made with the
biocomposite

29/04/2022



European Regional Development Fund



Partners

PP Leader : UBS

Partners involved : Kairos, TVDC

Deliverable N° & name :

- 4.5.1 4.5.1 Life Cycle Analyses report of the hull made with the biocomposite

Contenu

Table des matières

1. Introduction	3
1.1. Contexte.....	3
1.2. Objectifs.....	3
1.3. Public cible.....	3
2. Méthode.....	4
2.1. Principes de l'analyse de cycle de vie	4
2.2. Unité fonctionnelle.....	5
2.3. Système étudié	5
2.4. Limites du système	6
2.5. Critères d'attribution.....	6
2.6. Indicateurs et méthodes	6
2.7. Logiciel	7
3. Inventaire des données.....	8
3.1. Coque de bateau en verre composite.....	8
3.2. Coque de bateau en composite de lin	8
4. Evaluation des impacts environnementaux et interprétation.....	9
4.1. Résultats des comparaisons.....	9
4.2. Distribution de l'impact	10
5. Conclusion.....	11



1. Introduction

1.1. Contexte

Les réglementations environnementales et les stratégies gouvernementales poussent l'économie mondiale à utiliser des matériaux naturels et renouvelables au lieu de matériaux synthétiques. Les fibres de lin font partie de ces matériaux qui prennent une importance nouvelle du fait de ses bonnes propriétés et de son aspect renouvelable et local.

Dans ce but, le projet FLOWER vise à développer des renforts en fibres de lin produits localement pour l'industrie des composites à moindre coût. Ces préformes innovantes permettront l'émergence de nouveaux produits pour les secteurs de l'automobile, du nautisme et de la PLV. Cela garantira le développement de produits performants, légers, biodégradables ou recyclables avec des impacts environnementaux réduits.

Le projet FLOWER est un projet européen réalisé avec le financement du programme Interreg. Il s'agit d'une collaboration entre la France et l'Angleterre, composée de quatre groupes académiques (Université de Portsmouth, Université de Cambridge, Université de Bretagne Sud et INRAe de Nantes) et de quatre entreprises industrielles (Ecotechnilin, Kairos, Howa-tramico et Depestele).

1.2. Objectifs

L'un des objectifs du projet FLOWER est de quantifier l'impact environnemental des produits développés, dans le cadre du livrable 4.5.1. Dans cette perspective, ce document présentera une Analyse du Cycle de Vie de la coque du bateau en composite renforcé de lin. Ceci est à comparer avec la coque en composite renforcé de verre, qui est actuellement utilisée.

Les informations collectées seront utiles pour retrouver les parties étudiées les plus impactantes et aussi pour identifier les étapes qui influencent le plus les impacts environnementaux. Il pourrait aider les partenaires du projet dans leurs orientations industrielles.

1.3. Public cible

Dans le cadre du projet FLOWER, cette étude est destinée aux partenaires du projet afin qu'ils puissent faire un choix éclairé sur les principaux impacts environnementaux de leurs produits. De plus, cette étude peut servir de base au pitch du partenaire auprès de ses clients.

Cependant, en l'absence d'examen critique, comme l'exige la norme ISO 14044, les résultats de cette étude ne peuvent pas être diffusés en externe pour comparaison avec d'autres produits équivalents.



2. Méthode

2.1. Principes de l'analyse de cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie normalisée (ISO 14040 et ISO 14044) permettant d'évaluer les impacts environnementaux associés à toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, d'un processus ou d'un service.

Les parties suivantes de la méthodologie de l'ACV (voir figure 2) sont résumées ci-dessous sur la base de la norme ISO 14040:

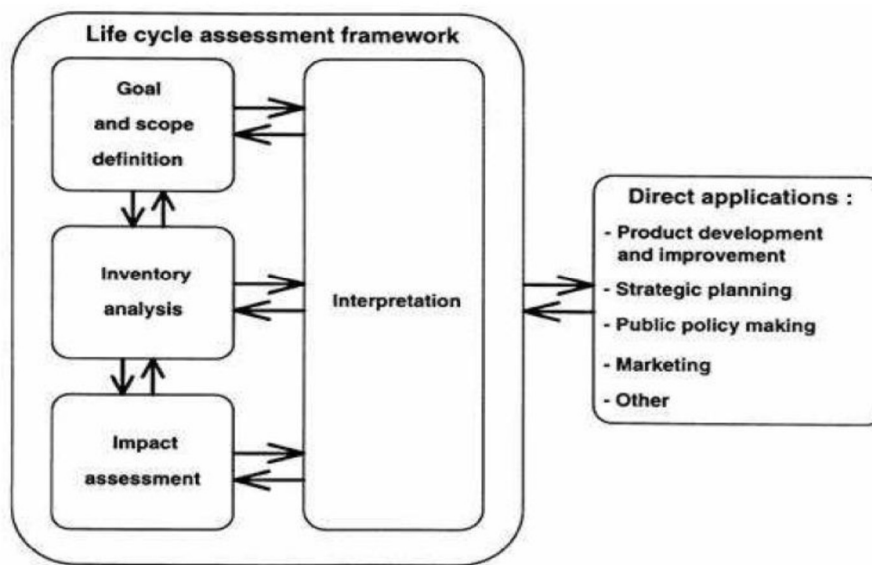


Figure 1 - Phases of an LCA (picture from ISO 14040)

- Définition de l'objectif et du champ d'application

La définition de l'objectif et du champ d'application est l'étape initiale de toute étude ACV. À ce stade, le principe du travail est expliqué. Les limites du système du produit sont également définies. Cette étape est l'une des plus importantes de la procédure d'ACV, où la communication entre le client et l'analyste est cruciale.

- Analyse des stocks

L'analyse de l'inventaire implique la collecte de données et des calculs pour quantifier les intrants et les extrants du système décrit dans le "champ d'application et la définition de l'objectif", y compris les matières premières, les flux de déchets et les émissions attribuées au cycle de vie des produits.

- Évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA)

Le LCIA décrit les conséquences environnementales de la charge environnementale quantifiée dans l'analyse d'inventaire. Il interprète les charges environnementales de l'analyse d'inventaire en impacts environnementaux tels que les équivalents kilogrammes de CO₂, l'acidification, la biodiversité, etc.

- Interprétation

Les calculs d'inventaire effectués dans le cadre d'une ACV quantitative sont généralement volumineux et assez difficiles à interpréter. Il est donc important d'affiner les résultats



bruts et de ne présenter qu'une section contenant les paramètres de résultats les plus importants ainsi que les objectifs initiaux.

2.2. Unité fonctionnelle

Les impacts environnementaux sont calculés pour un même service donné : l'unité fonctionnelle. L'unité fonctionnelle définit « la performance quantifiée d'un système produit à utiliser comme unité de référence ».

Afin de comparer différents procédés de fabrication et matériaux, l'unité fonctionnelle retenue est : « **Produire une coque de bateau par voie industrielle** ». Deux systèmes seront étudiés : une coque en composite de lin et une autre en composite de verre.

2.3. Système étudié

Le produit étudié est une coque utilisée sur le bateau Birdyfish® (illustré à la figure 2), qui est un bateau de 4,7 m équipé d'hydroptères.



Figure 2 – Picture of Birdyfish

Les deux systèmes étudiés (en lin ou en verre) sont proches. Ils comprennent l'extraction des ressources nécessaires à la production des composants (matière première, énergie), la fabrication des semi-produits composites (en lin par EcoTechnilin et données génériques pour le verre) et la fabrication composite de la coque par Rotteleur Composites, le sous-traitant de Kairos. Ces étapes sont représentées sur la figure 3.

Les différences entre ces deux produits seront présentées dans la rubrique Inventaire des données.

Par conséquent, l'analyse est une approche Cradle-to-gate : il s'agit d'une évaluation du cycle de vie d'un produit depuis l'extraction et la fabrication des matières premières ("berceau") jusqu'à la sortie de l'usine (c'est-à-dire avant qu'il ne soit transporté vers le client). L'utilisation, les phases d'élimination et la fin de vie du produit ne sont pas couvertes.

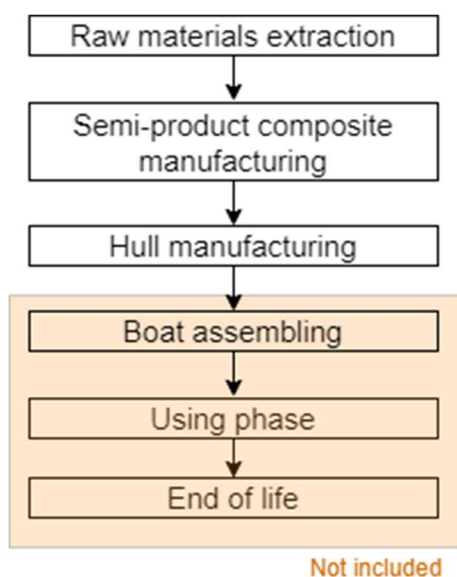


Figure 3 – Schematic boat hull stages of life

2.4. Limites du système

En général, les systèmes considérés excluent la production, l'entretien et le démantèlement des infrastructures et des biens d'équipement (bâtiments, machines, routes). Cette considération est prise en compte dans cette ACV. Du fait qu'il existe des similitudes entre les deux produits étudiés et qu'il s'agit d'une ACV comparative, certains procédés (consommables, énergie...) n'ont pas été pris en compte dans cette étude :

- Les consommables de perfusion (joint, lingette de purge, mastic de poche sous vide, toile drainante...) n'ont pas été pris en compte.
- Le gelcoat n'est pas pris en compte.
- Le produit catalyseur pour la matrice n'est pas pris en compte.
- La colle en aérosol n'est pas prise en compte.
- Les outils d'usinage ne sont pas pris en compte.

Pour un procédé, le mix électrique du pays concerné (France) est pris en compte en fonction du lieu de l'opération.

2.5. Critères d'attribution

Le critère d'allocation par défaut utilisé est l'allocation en masse.

2.6. Indicateurs et méthodes

Il existe différentes méthodes d'évaluation applicables, y compris ReCiPe, CML. Ces méthodes sont évaluées et recommandées par le manuel ILCD (International Life Cycle Data).

Les impacts environnementaux suivants utilisés dans la présente étude ont été sélectionnés dans la méthode "CML-IA Baseline V3.06":

- Réchauffement climatique

L'impact sur le changement climatique sur une période de 100 ans est évalué à l'aide de la quantité d'émissions de gaz à effet de serre, exprimée en équivalent de dioxyde de carbone. Elle prend spécifiquement en compte les émissions "fossiles" de CO₂, de N₂O



(ces émissions proviennent, par exemple, de la combustion de carburants et de gaz naturel) et les émissions de CH₄ (provenant, par exemple, de la fermentation de déchets mis en décharge), mais ne prend pas en compte les émissions de CO₂ "biomasse", résultant, par exemple, de la combustion de déchets dans des incinérateurs. L'effet de serre est exprimé en kg eq. CO₂.

- Épuisement des ressources abiotiques

Cet indicateur quantifie l'appauvrissement de l'environnement en termes de ressources minérales. Les ressources vivantes et leurs impacts associés tels que la disparition d'espèces ou la perte de biodiversité sont exclus de cette catégorie. Cet indicateur fournit plus d'informations sur l'épuisement des différentes matières que sur l'impact causé par leur extraction du milieu naturel. Le calcul est effectué par rapport aux stocks restants estimés et au taux de consommation de l'économie actuelle. Cet indicateur est exprimé en kg eq d'antimoine (l'antimoine est un élément chimique de numéro atomique 51). À titre d'exemple, 1 kg de minerai de platine correspond à 2,22 kg eq d'antimoine, et 1 kg de bore correspond à 0,00043 kg eq d'antimoine (source : CML).

- Acidification

La catégorie d'impact acidification représente une augmentation des composés acides tels que les oxydes d'azote et les oxydes de soufre dans l'atmosphère. Le facteur de caractérisation d'une substance est calculé en gramme équivalent de SO₂, qui peut être produit par mole. CML4 a développé la méthode de caractérisation utilisée par PwC.

- Oxidation photochimique

Dans certaines conditions climatiques, les émissions atmosphériques des industries et des transports peuvent réagir de manière complexe sous l'influence des rayons solaires et conduire à la formation d'un smog photochimique. Une succession de réactions impliquant des composés organiques volatils et des NO_x, conduit à la formation d'ozone, un composé super-oxydant. Le potentiel de formation des oxydants photochimiques est exprimé en g eq. éthylène.

- Eutrophisation des eaux

L'eutrophisation est définie comme l'enrichissement des eaux en éléments nutritifs, suite à l'intervention humaine. L'appauvrissement en oxygène est la conséquence possible d'un tel enrichissement. La méthode de caractérisation utilisée par PwC est basée sur la méthode développée par le Centre of Environmental Science (CML) de l'Université de Leiden. Elle est basée sur la capacité d'une substance à contribuer à la prolifération des algues. Cette contribution est traduite en appauvrissement en oxygène en tenant compte de la quantité d'oxygène consommée lors de la décomposition des algues. Les facteurs de caractérisation sont donnés en gramme équivalent phosphate.

L'indicateur Demande d'énergie cumulée (V1.11), qui évalue l'énergie consommée pendant toutes les étapes de la vie du revêtement, a également été retenu. Cette méthode est basée sur les pouvoirs calorifiques supérieurs (HHV).

2.7. Logiciel

L'ACV est réalisée avec le logiciel *Simapro*, version 9.1.1.1.



3. Inventaire des données

La collecte des données a été réalisée directement chez Rotteleur Composites, le sous-traitant constructeur de Kairos.

Des données génériques ont été utilisées pour modéliser certains processus et sont principalement issues de la base de données Ecoinvent 3.

3.1. Coque de bateau en verre composite

La quantité de chaque processus a été mesurée directement sur le site de Rotteleur Composites par eux-mêmes. Il n'y a qu'une seule étape qui comprend tout le processus modélisé pour faire la coque (présenté à la figure 4). Les consommations électriques des équipements sont calculées à partir de la puissance nominale et du temps de fonctionnement. L'énergie de la production de mousse PET n'est pas prise en compte. Le tableau 1 présente toutes les étapes incluses dans le modèle du produit.

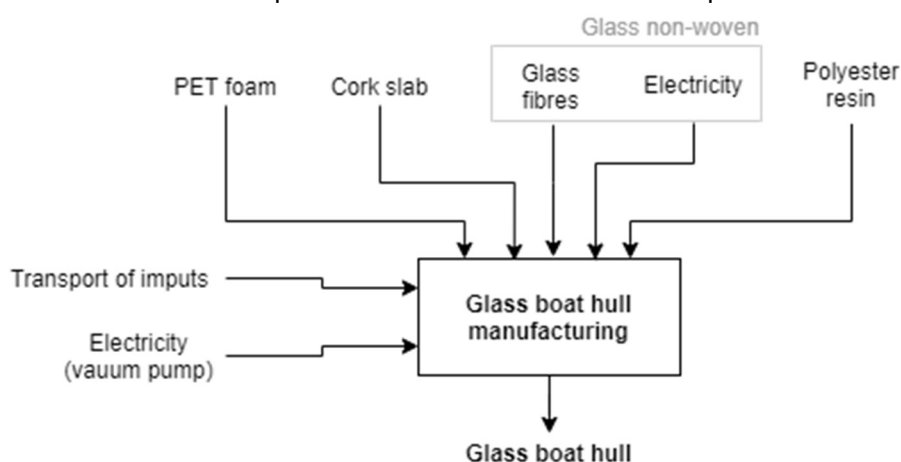


Figure 4 – Flowchart of the glass boat hull manufacturing in Rotteleur Composites

Table 1. Data corresponding to the glass boat hull manufacturing

Type	Name of process/flow in Simapro	Corresponding step	Quantity
Input	Polyethylene terephthalate, granulate {GLO}	PET foam	0.55 kg
	Cork slab {GLO}	Cork slab	7.0 kg
	Polyester resin, unsaturated {RER}	Polyester resin	30 kg
	Glass fibre {GLO}	Non-woven glass fibre	19.7 kg
	Electricity, medium voltage {FR}	Non-woven glass fibre	19.7 *
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	PET foam transport	0.4kWh
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Cork slab transport	554 kgkm
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Non-woven transport	3233 kgkm
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Polyester resin transport	28600 kgkm
	Electricity, medium voltage {FR}	Vacuum pump	35400 kgkm
Output		Glass boat hull	1.5 kWh
			1 unit

3.2. Coque de bateau en composite de lin

La quantité de chaque procédé a été mesurée directement sur le site de Rotteleur Composites par Guillaume Barteau en 2021. Contrairement à la coque de bateau en verre,



la mesure de la quantité de coque de bateau en lin a été faite sur la version prototype. Cela implique une augmentation de la consommation de matériaux.

Il n'y a qu'une seule étape qui comprend tout le processus modélisé pour faire la coque (présenté à la figure 5). Les consommations électriques des équipements sont calculées à partir de la puissance nominale et du temps de fonctionnement. Les différents types de tissus de lin (Equilibré, unidirectionnel, BX) sont considérés comme non-tissé FLOWER 100% lin d'après un autre document FLOWER "LCA report Headliner HOWA TRAMICO". Toutes les données de ce produit y sont disponibles. L'énergie de la production de mousse PET n'est pas prise en compte.

Le tableau 2 présente toutes les étapes incluses dans le modèle du produit.

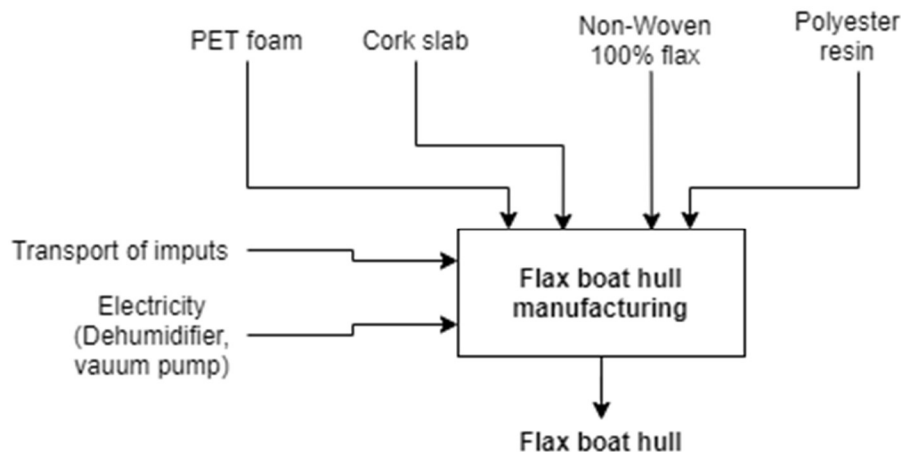


Figure 5 – Flowchart of the glass boat hull manufacturing in *Rotteleur Composites*

Table 2. Data corresponding to the glass boat hull manufacturing

Type	Name of process/flow in <i>Simapro</i>	Corresponding step	Quantity
Input	Polyethylene terephthalate, granulate {GLO}	PET foam	0.55 kg
	Cork slab {GLO}	Cork slab	7.0 kg
	Polyester resin, unsaturated {RER}	Polyester resin	48 kg
	FLOWER Non-woven 100% Flax	Flax fibres tissue	31.7 kg
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	PET foam transport	554 kgkm
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Cork slab transport	3233 kgkm
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Non-woven transport	10800 kgkm
	Transport, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}	Polyester resin transport	10800 kgkm
	Electricity, medium voltage {FR}	Desumidifier	56600 kgkm
	Electricity, medium voltage {FR}	Vacuum pump	204 kWh
		Glass boat hull	1.5 kWh
Output			1 unit

4. Evaluation des impacts environnementaux et interprétation

4.1. Résultats des comparaisons

Dans cette section, les résultats généraux des impacts environnementaux de l'ACV du berceau à la porte sont présentés. Les étapes envisagées vont de l'extraction des matières premières à l'entrée de l'usine de tête d'affiche.

Le tableau 3 et la figure 6 présentent ces résultats.



Table 3. Environmental impacts of the glass boat hull and the flax boat hull

Environmental impacts	Unity	Flax boat hull	Glass boat hull
Abiotic depletion	kg Sb eq	5,45E-03	6,12E-03
Global warming	kg CO2 eq	335,3	243,3
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	9,70E-02	6,99E-02
Acidification	kg SO2 eq	1,24	1,03
Eutrophication	kg PO4--- eq	5,18E-01	3,50E-01
Cumulative energy demand	MJ	2,65	1,52

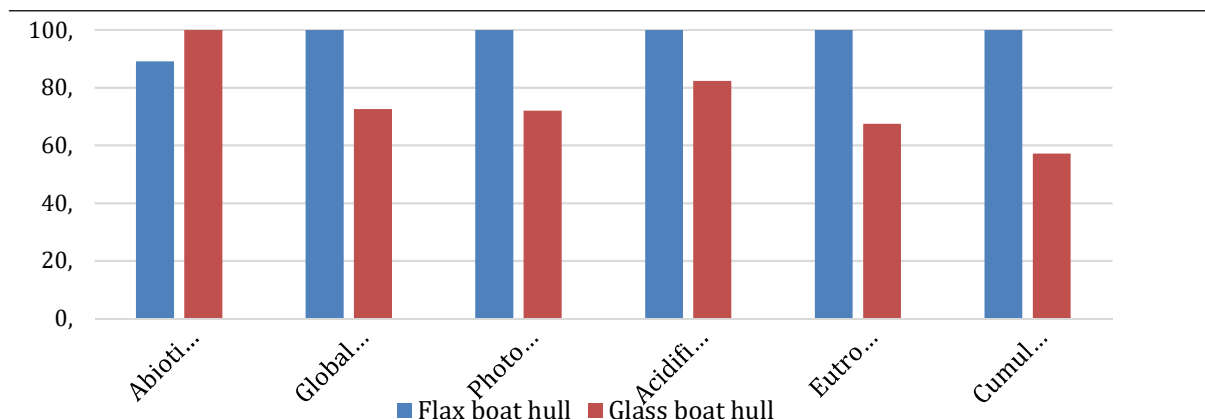


Figure 6 – Normalised environmental impacts of the glass boat hull and the flax boat hull

Sauf épuisement abiotique, la coque de bateau en fibres de verre est moins impactante que la coque de bateau en fibres de lin. Cette différence est comprise entre 44 % (pour la demande énergétique cumulée) et 19 % (pour l'acidification). A l'opposé, pour l'épuisement abiotique, la coque de bateau en verre est 11% plus impactante que la coque de bateau en lin.

Il est important de noter la différence de poids entre les deux coques de bateau. En effet, la coque en verre utilise 19,7kg de fibres de verre et 30kg de résine polyester tandis que la coque en lin utilise 31,7kg de fibres de lin et 47kg de résine polyester. Cela pourrait expliquer le meilleur impact environnemental global de la coque en verre. Avec une amélioration et une optimisation de la fabrication des coques en lin, la quantité de matière pourrait diminuer et donc l'impact environnemental également.

4.2. Distribution de l'impact

Dans cette section, la répartition des impacts par étapes de l'étude ACV est présentée pour les deux coques de bateaux étudiées. Les marches sont en résine polyester, fibres (verre ou lin), transport, dalle de liège et autres.

La figure 6 présente ces résultats.

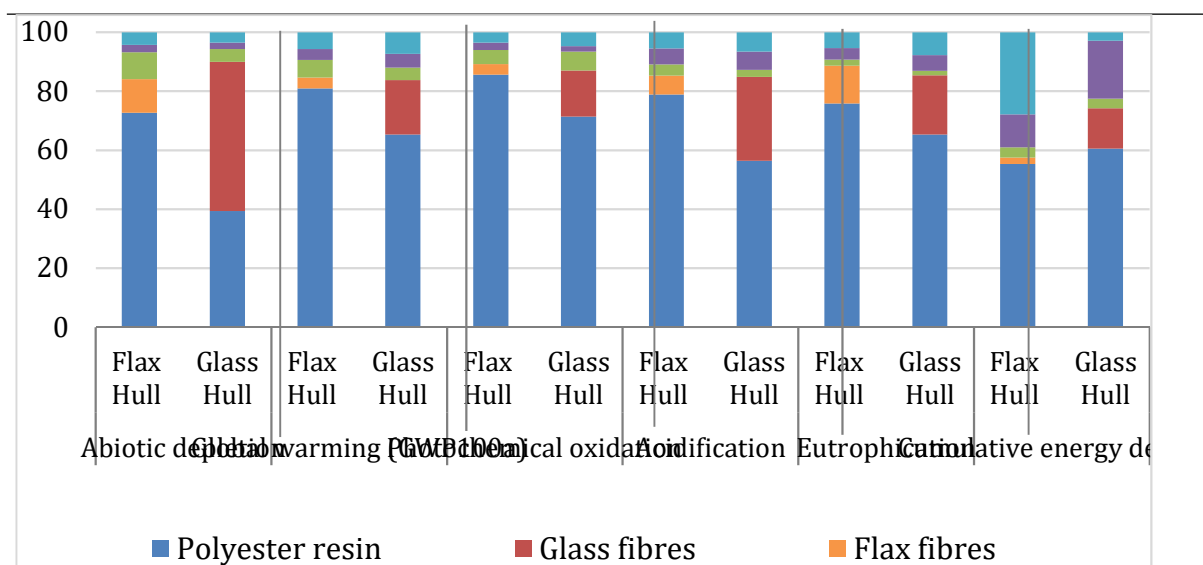


Figure 7- Normalised environmental impacts distribution by steps of the glass boat hull and the flax boat hull

Globalement, la résine polyester est la principale étape impactante des produits étudiés, notamment pour la coque de bateau en lin pour laquelle la résine polyester vaut au moins 72% de l'impact total tous indicateurs confondus.

On peut remarquer que les fibres de verre sont non négligeables pour la coque de bateau en verre. En effet, l'utilisation de ce matériau équivaut de 52 % de l'impact total pour l'épuisement abiotique à 16 % de l'impact total pour l'oxydation photochimique.

Ce graphique montre également que, pour une même quantité de résine polyester, la coque de bateau en lin devrait être moins impactante que la coque de bateau en verre. Ce résultat pourrait être réaliste avec une optimisation du processus de fabrication.

De plus, on peut voir sur la figure 7 que le processus des autres étapes, qui inclut normalement le processus de fabrication, est faible. En raison des hypothèses retenues, ce processus est largement sous-estimé. Nous ne pouvons rien conclure sur cette observation.

5. Conclusion

- Cette étude, qui fait partie du projet FLOWER, tente de donner des informations sur l'impact environnemental de la coque de bateau en fibres de verre et fibres de lin. En raison d'hypothèses, de données moyennes provenant de bases de données et de simplifications, les résultats doivent être utilisés avec prudence. Des travaux complémentaires pourraient être envisagés pour approfondir le sujet. Néanmoins, certains enseignements peuvent être appris :
- En l'état, la coque de bateau en lin est plus impactante que la coque de bateau en verre (pour 5 indicateurs environnementaux sur 6).
- Pour les deux produits, la résine polyester est la principale étape impactante de la coque modélisée étudiée.
- Avec une optimisation du processus de fabrication de la coque en fibres de lin, une diminution de la résine polyester utilisée a pu être observée. Cela se traduirait par



une diminution de l'empreinte environnementale de la coque, qui deviendra moins impactante que la coque de bateau en fibres de verre.