

**11TH HOUR RACING TEAM**  
*RAPPORT CONCEPTION ET CONSTRUCTION DURABLES*



### Contrôle des versions

Version	Nom	Date
Ébauche Juillet 2021	Damian Foxall	13 Juillet 2021
Nouveau document	Damian Foxall	22 octobre 2021
Finale	11th Hour Racing Team	29 octobre 2021
Publiée		1er décembre 2021

[sustainability@1degree.us](mailto:sustainability@1degree.us)

### ISO 14044

Tout a été mis en œuvre pour respecter la norme ISO 14044. Ce rapport a été revu par des experts dans cette optique mais n'a pas été certifié par une tierce partie.

<b>SOMMAIRE</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>10</b>
UNE NOUVELLE CAMPAGNE	10
IMOCA	12
<b>OBJECTIFS</b>	<b>12</b>
PERFORMANCE	13
LA MISSION DE CONSTRUCTION	13
LA TIMELINE	13
TROP TARD, OU JUSTE À TEMPS ?	13
DÉVELOPPEMENT DURABLE	14
OBJECTIFS	14
PARTIES PRENANTES	16
PLAN	17
<b>BENCHMARKS &amp; NORMES</b>	<b>19</b>
OBJECTIF	19
BENCHMARKS	19
FABRICATION VS. PHASE D'UTILISATION	21
KAIROS 2010	21
NORMES	21
NET ZÉRO	21
NORMES GOUVERNEMENTALES ET INDUSTRIELLES	21
ISO 14044	22
APER	22
RÉGLEMENTATIONS LOCALES EN MATIÈRE DE DÉCHETS	22
UNFCCC	22
WORLD SAILING	23
IMOCA	24
BILAN	26
RECOMMANDATIONS	26
<b>GROUPE D'ÉTUDES</b>	<b>27</b>
<b>CONTEXTE</b>	<b>27</b>
ACTION	27
BILAN	28
RECOMMANDATIONS	28

<b>CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT</b>	<b>29</b>
OBJECTIF	29
ACTION	29
BILAN	29
ANALYSE DES 10 PRINCIPAUX FOURNISSEURS	30
RECOMMANDATIONS	30
<b>AUDIT ENVIRONNEMENTAL</b>	<b>31</b>
OBJECTIF	31
ACTION	31
TRACKING	31
INFRASTRUCTURE CDK	32
ÉNERGIE RENOUVELABLE	32
GESTION DU MATÉRIEL	32
GESTION DES DÉCHETS	32
BILAN	33
RECOMMANDATIONS	33
<b>ANALYSE DU CYCLE DE VIE</b>	<b>34</b>
INTRODUCTION	34
OBJECTIFS DE L'ACV	35
MARINESHIFT360	35
UTILISATEUR PILOTE	36
RESSOURCES	36
ACV 1	38
RECOMMANDATIONS	39
ACV 2	40
CONTEXTE	40
OBJECTIFS & PORTÉE	40
INVENTAIRE	42
INVENTAIRE DU SYSTÈME DE FABRICATION	43
COLLECTE DE DONNÉES - EXAMEN DU PROCESSUS	44
ANALYSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS : ACV 11.2	46
VENTILATION DES GAZ À EFFET DE SERRE	47
CONCLUSION	50
<b>ANALYSE DE SCÉNARIOS - ÉNERGIE</b>	<b>51</b>
INTRODUCTION	51
RÉSULTAT	51
CONSTRUCTION RÉELLE 11,2	51

RECOMMANDATIONS	52
<b>EMPREINTE NUMÉRIQUE</b>	<b>52</b>
INTRODUCTION	52
MÉTHODOLOGIE	52
INVENTAIRE	52
LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE	54
CONCLUSION	54
<b>AU DELÀ DU STATU QUO</b>	<b>55</b>
LA COMPLEXITÉ DES NOUVELLES CONSTRUCTIONS PAR RAPPORT AUX ANCIENNES	55
DISCUSSION	56
RECOMMANDATIONS	56
<b>MATÉRIAUX ALTERNATIFS</b>	<b>57</b>
RAPPORT SUR LES MATÉRIAUX ALTERNATIFS	58
COMPARAISON MÉCANIQUE	58
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	59
COMPARATIFS DES COMPOSITES	60
FIBRES	60
RÉSINES	61
ÂME	61
MATÉRIAUX RECYCLÉS	62
CARBONE RECYCLÉ - ENTRANT	62
RECYCLAGE DU CARBONE - SORTANT	62
FIBRE DE CARBONE ELG	63
HiPerDif	64
RECOMMANDATIONS	65
FIBRE DE LIN (FLAX)	66
PROPRIÉTÉS DU MATÉRIAU	66
AVANTAGES ÉCOLOGIQUES	66
PowerRibs	67
GRÉEMENT	68
Recommandations	68
LES OPTIONS NON EXPLORÉES, OU NON RÉALISABLES DANS LE DÉLAI IMPARTI	69
PASSER À L'ACTION	69
RECOMMANDATIONS	69
<b>RACONTER L'HISTOIRE</b>	<b>70</b>
LA SÉRIE "MAKING OF"	70

"THE DESIGN STORY"	70
L'ART PREND LE LARGE	70
"INNOVATION STORY"	70
MARK CHISNELL SUR '11.2'	71
<b>COMPOSANTS DE FABRICATION</b>	<b>72</b>
PANNEAUX DE PONTS	72
CALE MOTEUR & BACS BATTERIE	73
BERS	74
PAD EYES	76
CARÉNAGE DU PANNEAU DE PONT	76
<b>CIRCULARITÉ</b>	<b>77</b>
OBJECTIFS	77
CIRCULTICS	78
VALORISATION DES RESSOURCES ET ANALYSE DES DÉCHETS	78
PÉRENNISER LES PRODUITS UTILISABLES	82
CONSERVER LES MATÉRIAUX RÉUTILISABLES	82
RÉDUIRE LES DÉCHETS DÈS LA CONCEPTION	82
RECOMMANDATIONS	84
<b>ÉNERGIES RENOUVELABLES À BORD</b>	<b>85</b>
OBJECTIF	85
ACTION	85
BILAN	85
RECOMMANDATIONS	85
<b>ANALYSE DE SCÉNARIOS</b>	<b>86</b>
ANALYSE DE SCÉNARIO - MOULES	86
OBJECTIFS	86
BILAN	86
PISTES D'AMÉLIORATION	87
RECOMMANDATIONS	88
ANALYSE DE SCÉNARIO - RETOUR DE L'EMBALLAGE	89
RÉSUMÉ	89
OBJECTIFS	89
BILAN	89
RECOMMANDATIONS	90
ANALYSE DE SCÉNARIO - TRANSPORT	91
OBJECTIFS	91
BILAN	91

RECOMMANDATIONS	92
ANALYSE DE SCÉNARIO - MÉTAUX	93
OBJECTIFS	93
ACTION	93
RECOMMANDATIONS	93
ANALYSE DE SCÉNARIO - FOILS	94
OBJECTIFS	94
BILAN	94
RECOMMANDATIONS	94
ANALYSE DE SCÉNARIO - CHOIX DE CONCEPTION VS. IMPACT	95
OBJECTIFS	95
SCÉNARIOS	95
SCÉNARIO : 150 ou 300 g/m <sup>2</sup>	96
SCÉNARIO : RÉSINE ÉPOXY VS. RÉSINE ÉPOXY BIO	97
SCÉNARIO : PRÉ IMPRÉGNÉ, INFUSION VS. STRAT MANUELLE	98
DISCUSSION	100
<b>RÉSULTATS FINAUX</b>	<b>101</b>
COMPARAISONS AVEC LE RAPPORT KAIROS 2010	101
AMÉLIORATIONS	103
PISTES D'AMÉLIORATION QUANTITATIVES	104
RECOMMANDATIONS	106
<b>LA FIN DE VIE D'UN IMOCA</b>	<b>110</b>
<b>CAMPAGNE IMOCA POUR THE OCEAN RACE</b>	<b>112</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>114</b>
<b>RESSOURCES</b>	<b>114</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>115</b>
RÉVISION	115
RÉFÉRENCES	115
11TH HOUR RACING TEAM	115
AUTRES	115
LISTE DES PARTIES PRENANTES	116
<b>VERS L'OBJECTIF NET ZÉRO</b>	<b>120</b>
QU'EST-CE QUE NET ZÉRO ?	120
DES OBJECTIFS FONDÉS SUR LA SCIENCE	121
LE RISQUE DE NE RIEN FAIRE	122
<b>VISION</b>	<b>122</b>

CE QUI EST NÉCESSAIRE	124
RÈGLES, CHARTES & POLITIQUES	124
POLITIQUE D'ÉMISSIONS CARBONE	124
Un quota	124
Tarification interne des émissions carbone	125
FOND POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE	125
RECOMMANDATIONS	126
COMMENT CHANGER : 3 APPROCHES	127
LA VOIE VERS LE NET ZÉRO	128
DISSOCIER CROISSANCE ET IMPACT	128



# INTRODUCTION

Ce rapport décrit la conception et la construction d'un bateau de course au large pour l'équipe 11th Hour Racing Team, une équipe de voile offshore de haute performance, originaire de Newport (Rhode Island) aux États-Unis et opérant depuis sa base temporaire en Bretagne, en France.

Les cofondateurs Charlie Enright (États-Unis) et Mark Towill (États-Unis) ont participé aux deux précédentes éditions de The Ocean Race (anciennement Volvo Ocean Race), utilisant l'événement sportif mondial en 2017-18 en guise de plateforme pour promouvoir la santé des océans et le développement durable.

Soutenue par son sponsor, [11th Hour Racing](#), et un certain nombre de partenaires et fournisseurs officiels, l'équipe se prépare pour The Ocean Race 2022-23. Le défi sportif de remporter le Trophée de The Ocean Race est également une excellente vitrine pour montrer comment les performances sportives peuvent promouvoir le développement durable dès lors qu'il est intégré tout au long d'une campagne.

Le terme "net positif" décrit l'intention de l'équipe 11th Hour Racing Team de générer une dynamique de changement régénérateur, dans ses activités opérationnelles et d'influence. Plus simplement décrit, il s'agit de faire plus de bien que de mal en contribuant davantage que ce que l'on prend.

Les [rapports annuels sur la durabilité](#) de l'équipe exposent le contexte plus large des opérations du Team. Dans ce rapport, l'équipe se concentre sur la conception, la construction et l'optimisation d'un nouvel [IMOCA](#) 60 pieds, de la planche à dessin à la mise à l'eau, et explore ce qui est nécessaire de mettre en place pour surmonter le "business as usual".

## UNE NOUVELLE CAMPAGNE

À la suite de The Ocean Race 2017-18, Towill et Enright ont rapidement lancé une nouvelle campagne en IMOCA, nouvelle classe de performance pour The Ocean Race 2022-23, avec le soutien de leur sponsor 11th Hour Racing. La campagne a commencé début 2019, avec l'achat du bateau d'entraînement IMOCA de l'équipe, l'ancien Hugo Boss 6, qui a été baptisé par l'équipe "Alaka'i", et est également connu sous le nom de "11.1". L'optimisation d'Alaka'i a commencé par un carénage chez Multiplast à Vannes, en France.

Parallèlement à la navigation et à l'optimisation de 11.1, un nouvel IMOCA est conçu et construit, adapté aux conditions de The Ocean Race en équipage complet - le tout premier de cette nouvelle génération d'IMOCA - en utilisant les connaissances, les données et les technologies les plus récentes.

Il a été décidé d'entreprendre la construction en Bretagne (France) en faisant appel à :

- Un architecte naval et bureau d'études - Guillaume Verdier
- Un constructeur de bateaux - CDK Technologies
- Un partenaire technique et de performance - MerConcept

Le choix de la Bretagne comme base des opérations du Team en Europe répondait aux objectifs clés suivants :

- Possibilité de disposer d'une connaissance pointue de la Classe IMOCA et d'une main d'œuvre qualifiée.
- Accès annuel à des infrastructures de voile pertinentes, à des événements de classe mondiale et à la communauté de voile régionale.
- Proximité du site de départ de The Ocean Race, à Alicante, en Espagne, et de la base de 11th Hour Racing Team, à Newport (RI), aux États-Unis.

La décision de s'installer en Bretagne a été prise dans un souci de performance et a permis d'obtenir divers avantages du point de vue de la durabilité, que nous examinerons plus en détail dans ce rapport. Voici quelques-uns de ces avantages :

- L'opportunité pour l'équipe et 11th Hour Racing de tisser des partenariats au sein du berceau mondial de la course au large.
- L'industrie maritime bien établie en Bretagne est le résultat de décennies de développement régional, avec un réseau de fabrication et une chaîne d'approvisionnement spécialisés. Grâce à ce réseau étroit, de nombreux gains d'efficacité ont été réalisés, les impacts environnementaux ont été réduits, une main-d'œuvre qualifiée a été employée et l'industrie mature s'avère prête à explorer des opportunités pour évoluer au-delà du « business as usual ».
- Les taux d'émission de l'électricité en France sont généralement faibles comparés à ceux d'autres pays. Il en résulte des économies immédiates importantes sur de nombreux produits et services de la chaîne d'approvisionnement et, surtout, sur le processus de construction des bateaux.
- CDK Technologies et MerConcept avaient déjà adopté une approche rigoureuse en matière de développement durable sur le terrain.
- La Classe IMOCA travaillait à la mise en place d'un programme de développement durable.

D'autres organisations telles que [La Vague](#), [Eurolarge](#) et la plupart des grands événements de voile français commençaient à explorer et à mettre en œuvre des initiatives de développement durable. Le fait d'être basé en Bretagne a permis au Team de prendre pleinement part à ces discussions. La conception du nouvel IMOCA connu sous le nom de "11.2" et baptisé par l'équipe "Mālama", a commencé en avril 2019, et sa construction concrète au début de 2020. Avec un retard causé par la COVID-19, le nouveau bateau de course a été mis à l'eau fin août 2021, et a couru pour la première fois en septembre 2021 sur le Défi Azimut.

## IMOCA



Fondée en 1991, l'[International Monohull Open Class Association](#) (IMOCA) est une classe de monocoques ouverts de 60 pieds, alliant conception ingénieuse, construction innovante et performances sur l'eau : une classe de premier plan dans la course au large.

Le développement continu au sein de la Classe IMOCA ne cesse de stimuler l'innovation dans l'industrie maritime. Des doubles safrans aux foils, des quilles pivotantes aux mâts basculants, de nombreuses évolutions n'ont cessé d'émerger au sein de la Classe et au-delà.

Bien que la phase de conception et de construction soit primordiale pour réussir sur l'eau, ce qui se traduit par un effort constant pour construire de nouveaux bateaux et composants, l'IMOCA a plus récemment fait du développement durable un objectif important pour la Classe.

Ce paradoxe entre durabilité et performance est l'occasion idéale de travailler à la mise en œuvre d'une transition durable dans le secteur maritime.

## OBJECTIFS

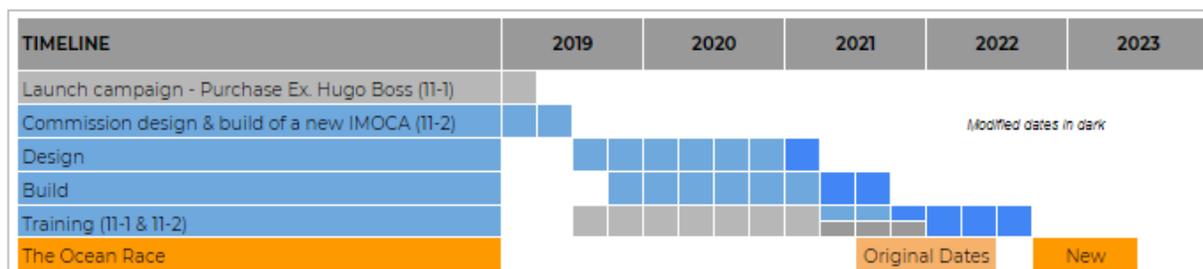
L'objectif sous-jacent de l'équipe 11th Hour Racing Team est de mettre en avant le concept de durabilité au travers de la performance. L'équipe estime que ce n'est qu'en se plongeant au cœur de l'industrie qu'elle peut comprendre les défis et explorer les perspectives de changement. Par conséquent, dans le cadre de ce rapport, l'équipe commencera par les objectifs liés à la performance et terminera par ceux liés au développement durable.

## PERFORMANCE

### LA MISSION DE CONSTRUCTION

Concevoir, construire et optimiser un nouvel IMOCA, en intégrant les meilleures connaissances et technologies disponibles, afin d'obtenir les meilleures performances possibles en course.

### LA TIMELINE



### TROP TARD, OU JUSTE À TEMPS ?

Le calendrier de conception et de construction a imposé une approche classique pour les livrables des concepteurs et des constructeurs de bateaux, en se focalisant sur ce qui pouvait être réalisé dans un délai de deux ans à compter du départ de The Ocean Race.

Pour valider de nouveaux matériaux et établir de nouveaux processus de construction dans n'importe quel secteur, il faut obligatoirement prévoir une période d'essai, de test et de validation. Dans le cas de la voile performante, un minimum de 18 mois est généralement nécessaire pour tout changement, excepté pour les plus simples.

Sur la base du calendrier initial, ces contraintes ont exclu la possibilité d'un changement significatif de méthode ou de matériaux dans les éléments structurels de la construction du bateau. La priorité a été donnée au fait d'appliquer des initiatives durables à une timeline de développement classique.

Travailler en tenant compte de cette réalité, afin d'obtenir les meilleures efficacités possibles pendant le processus de conception et de construction, a permis à l'équipe de développer une compréhension des défis et des opportunités, avec pour finalité de fournir des recommandations pour les constructions futures.



**Bill Erkelens, COO de l'équipe 11th Hour Racing :**

*“Les objectifs de la campagne étaient clairs : constituer une équipe performante, avec le meilleur bateau possible, et mettre en œuvre des opérations de développement durable exemplaires tout au long du programme, en atteignant l'excellence à la fois sur et hors de l'eau. En nous plaçant au cœur du secteur de la voile de compétition, avec des objectifs de performance similaires et en faisant face aux mêmes défis que tout le monde, nous avons eu l'opportunité de mettre au point des solutions pragmatiques aux véritables enjeux auxquels notre industrie est confrontée. Il s'agit de travailler de l'intérieur vers l'extérieur”.*

# DÉVELOPPEMENT DURABLE

## OBJECTIFS

Les principaux objectifs de développement durable pour le processus de conception et de construction et les résultats attendus étaient les suivants :

- Comprendre le statu quo :  
Un groupe chargé de la conception et de la construction durables a été formé, comprenant l'équipe de conception et de construction ainsi que des experts de l'industrie maritime. Une série de workshops a permis d'identifier les éléments nécessaires à la recherche et de déterminer les meilleurs processus compte tenu du temps et des ressources disponibles.
- Rechercher de nouvelles possibilités de développement durable en matière de conception et de construction :  
Kairos Biocomposites a été mandaté pour fournir :
  - L'étude de l'Analyse du Cycle de Vie d'un IMOCA construit en 2010.
  - Un examen des matériaux alternatifs existants.
  - Des tests de résistance sur des matériaux potentiels.
  - Un étudiant stagiaire chargé de travailler auprès des constructeurs de bateaux afin de préparer un audit de durabilité de l'infrastructure et d'évaluer les gains d'efficacité à prendre en compte pendant la construction.
- Mettre en œuvre, dans la mesure du possible, des solutions allant au-delà de ce qui se fait habituellement, et rechercher et évaluer les améliorations potentielles.
- Saisir l'impact des recommandations en situation réelle sur le terrain :
  - Développez l'apprentissage des techniciens sur site en ce qui concerne les défis pratiques.
- Établir une nouvelle référence en haute résolution de l'analyse du cycle de vie (ACV) :
  - En utilisant les données de référence de l'ACV de deux constructions précédentes et une étude théorique, l'équipe a utilisé l'outil d'analyse du cycle de vie, MarineShift360<sup>1</sup>, pour générer une nouvelle représentation en haute résolution des impacts associés à la construction d'un IMOCA.
- Analyser les résultats
- Coordonner l'application de l'ACV globale pour fournir une étude complète d'un IMOCA tout au long de la période de mise à l'eau et d'essais.
- Assumer la responsabilité des impacts inévitables :

---

<sup>1</sup> Soutenu par 11th Hour Racing en tant que sponsor fondateur, MarineShift360 est un outil d'évaluation du cycle de vie spécialement conçu pour l'industrie maritime. MarineShift360 est un outil d'analyse du cycle de vie (ACV) conforme et certifié aux normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006. Les résultats de l'ACV présentés ici sont calculés à l'aide de MarineShift360, qui est en cours de développement et se trouve actuellement en phase bêta. Aucune déclaration concernant l'exactitude n'est faite et les résultats peuvent changer au fil du temps à mesure que le développement de MarineShift360 se poursuit.

- Conformément à la stratégie d'action pour le climat et à l'approche Net Positive de l'équipe, les émissions inévitables de gaz à effet de serre associées à la construction seront compensées par la captation d'une quantité de carbone supérieure à celle émise par la construction.
- Collaborer avec l'industrie pour améliorer les pratiques de conception et de construction, et influencer les politiques tout au long de la chaîne de valeur :
  - Renforcer la confiance avec les fournisseurs et les prestataires de services grâce à une discussion ouverte sur les défis et les opportunités en matière de développement durable.
  - Augmenter la valeur ajoutée avec les partenaires et les fournisseurs.
  - Inspirer et influencer positivement l'industrie maritime au sens large.
  - Informer les nouvelles politiques durables et les meilleures pratiques.
- Fournir des enseignements, des observations et, le cas échéant, des recommandations concernant la transmission.
- Définir la voie à suivre pour parvenir au Net Zéro :



**Amy Munro, en charge de la durabilité, résume la stratégie de l'équipe :**

"Nous devons **mesurer** nos opérations, afin de **comprendre** nos répercussions, de fournir des informations sur les **mesures à prendre** et d'inciter les autres à collaborer pour atteindre un résultat **Net Positif**."

La stratégie de conception et de construction de haut niveau de l'équipe :



## PARTIES PRENANTES

La vision du Team est d'accélérer le changement au travers de l'excellence sportive en voile, de la défense des océans et de l'innovation durable. Il a été essentiel de comprendre très tôt les intérêts de nos partenaires de construction :

<b>Guillaume Verdier Design Studio</b>	<b>CDK Technologies</b>	<b>MerConcept</b>
Changement de politique Innovation en matière de conception	Efficacité énergétique Réduction des déchets Analyse de la chaîne d'approvisionnement	Mesures Partenaires de MarineShift360

Intérêts des consultants :

<b>Kairos</b>	<b>MarineShift360</b>
Partenaires de MarineShift360 Innovation et développement durable	Affiner l'outil d'analyse du cycle de vie



Ressources : bien qu'il s'agisse d'une campagne de grande envergure et de courte durée, l'équipe disposait d'un certain nombre de ressources :

Collaborateur*	Rôle	Risques et Opportunités
CDK Technologies	Constructeur	<u>Enjeux clés</u> : matériaux, déchets, énergie, chaîne d'approvisionnement  <u>Opportunités</u> : outillage, bio-résines, âme, fibre.
Guillaume Verdier	Architecte naval	<u>Enjeux clés</u> : temps de serveur - gaz à effet de serre, changements de conception de dernière minute.  <u>Opportunités</u> : conception en interne
MerConcept	Partenaires de performance	<u>Enjeux clés</u> : temps de serveur - gaz à effet de serre, changements de conception de dernière minute.  <u>Opportunités</u> : conception en interne
Kairos	Consultant	<u>Enjeux clés</u> : application réelle des biocomposites aux composants conformément au calendrier de la campagne.  <u>Opportunités</u> : rapport sur l'état de la technique, biocomposites, équipements de test des matériaux, développement d'une base de données de matériaux alternatifs.

\*Ces acteurs clés ont formé le groupe d'études chargé de la conception et de la construction durables de l'équipe.

## PLAN

Pour atteindre ces objectifs, l'équipe a suivi un plan détaillé :

**Étape 1** - créer un groupe d'études avec les principales parties prenantes :

- Un groupe d'études collaboratif sur la construction et la conception dont la mission est de contribuer à l'adoption par l'industrie de la construction navale des principes de l'économie circulaire.
- Tenir des réunions régulières pour présenter les recherches et poursuivre le développement du plan..

**Étape 2** - établir le point de départ et déterminer les critères de référence :

- Produire un rapport exploratoire d'évaluation du cycle de vie en utilisant des données anciennes afin de fournir une étude de référence du modèle "business as usual".
- Réaliser des audits de chantier naval pour comprendre les infrastructures actuelles, les déplacements du personnel, les matériaux, le transport des matériaux, l'utilisation de l'énergie, l'utilisation de l'eau, la gestion des déchets, le processus de construction et la fin de vie, afin de voir où des économies et des recommandations pourraient être faites ou des systèmes améliorés.
- Commissionner un rapport pour examiner la disponibilité actuelle et les propriétés de matériaux alternatifs durables.

- Identifier les projets à aborder selon une approche biomimétique de la résolution des problèmes.
- Dressez la liste des "fournisseurs à fort impact" et réalisez un processus de recensement des parties prenantes.
- Auditer et formuler des recommandations, par exemple l'isolation du toit du hangar, un système de refroidissement à eau fermée, travailler avec les fournisseurs sur les emballages en plastique, regrouper les expéditions, optimiser les durées et les tailles des fours.
- Comprendre et obtenir des éclaircissements sur les réglementations de course relatives aux énergies renouvelables à bord..

**Étape 3** - étudier la faisabilité, proposer et mettre en œuvre un ensemble de solutions durables :

- Définir une liste de composants pouvant faire l'objet de matériaux alternatifs, de pièces d'essais.
- En utilisant l'outil d'analyse du cycle de vie, définir les meilleures stratégies de réduction et d'utilisation des ressources.
- Définir les opportunités et les solutions de fabrication dans le but de neutraliser les déchets et la pollution.
- Identifier les possibilités de mise en œuvre de cycles inversés. Les projets comprenant la collecte, la remise à neuf et la revente, l'établissement d'une chaîne d'approvisionnement inversée, des projets de refabrication, des initiatives de location ou d'économie de partage, des programmes de reprise d'emballages.
- Rechercher et examiner les options d'énergie renouvelable et leur faisabilité, faire des recommandations pour atteindre un minimum de 30% d'énergie renouvelable à bord.

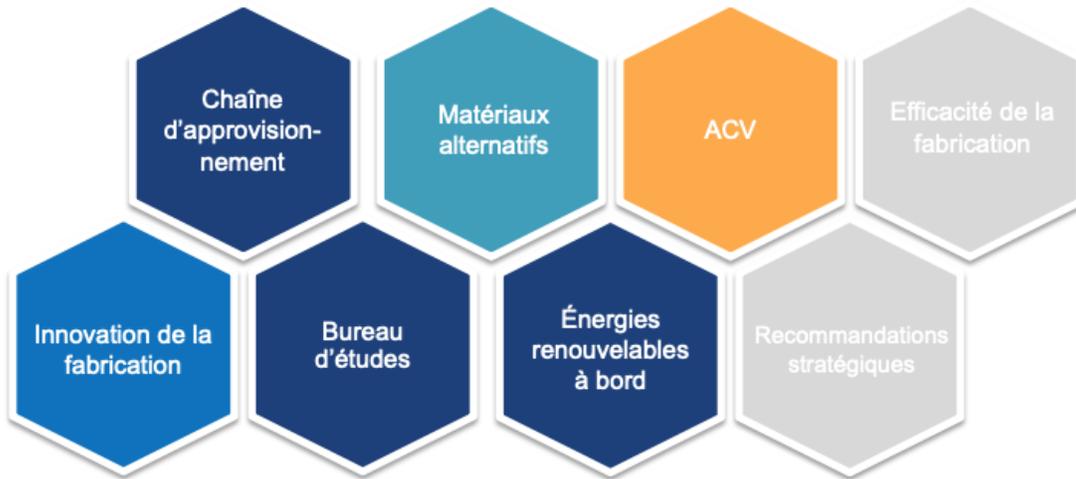
**Étape 4** - examiner, communiquer et transmettre :

- Publier un rapport complet sur les matériaux durables
- Encourager et faciliter la transmission d'apprentissage entre les fournisseurs et les partenaires en ce qui concerne les essais et l'utilisation de matériaux alternatifs.
- Obtenir une nomenclature des matériaux tels qu'ils ont été construits, comparer avec les références, communiquer les succès et les défis avec les parties prenantes, faire des recommandations pour l'avenir et pour développer une politique durable.
- Mesurer l'évolution en % de la mise en œuvre des recommandations de l'audit du chantier naval.

**Défi :** Pour avoir une réelle chance d'influencer un changement sur le long terme dans les processus de conception et de construction de l'industrie maritime, des recherches préalables et des tests de matériaux ou de processus devaient être effectués dans un délai pertinent pour les parties prenantes. Dans le cas de la construction de l'équipe, CDK Technologies aurait eu besoin d'un minimum de 12 à 18 mois pour valider et tester de nouveaux matériaux et processus avant de les incorporer avec fiabilité dans la construction. CDK Technologies a été désigné comme le constructeur de l'équipe 9 mois avant le début de la construction, et a donc été limité immédiatement dans ses possibilités d'innovation.

**Opportunité :** Le Team a défini des domaines spécifiques tels que le transport, les déchets et les optimisations énergétiques qui ont eu des impacts positifs immédiats sur l'empreinte de la construction. À long terme, l'équipe s'efforcera de faciliter l'innovation intersectorielle et le partage des compétences en matière de matériaux et de processus alternatifs.

## Les axes de travail ciblés :



## **BENCHMARKS & NORMES**

### **OBJECTIF**

Comprendre les différentes références à travers des benchmarks de l'industrie, la législation pertinente et la charte de la Classe dans le but d'identifier les aspects critiques des constructions précédentes. Cela permettra d'établir des comparaisons entre les constructions passées et futures.

### **BENCHMARKS**

La première étape a consisté à examiner les références actuelles du secteur et à établir une feuille de route pour la conception et la construction d'un IMOCA en vue de The Ocean Race, comme le montre le graphique ci-dessous.

Une enquête sur les méthodes d'analyse du cycle de vie (ACV) existantes pour des bateaux de taille comparable a permis d'établir une liste de référentiels pertinents :

- Kairos 2010 - ACV d'un IMOCA 60
- MOD 70 - ACV d'un trimaran de 70'.
- [Vestas 11th Hour Racing](#) - impact de la phase d'utilisation durant la Volvo Ocean Race 2017-18

En utilisant ces données de référence comme point de départ, l'équipe a réalisé deux études d'analyse du cycle de vie (ACV) :

- ACV 1 - une étude théorique d'un IMOCA construit en 2018.
- ACV 2 - un rapport ISO du bateau de course final et de ses composants, mis à l'eau et prêt à naviguer.



**Schéma : Benchmarks et émissions de gaz à effet de serre, de l'équipe 11th Hour Racing Team**

## **FABRICATION VS. PHASE D'UTILISATION**

Bien que ce rapport se concentre sur l'empreinte environnementale de la conception et de la construction d'un IMOCA lancé et prêt à naviguer, l'empreinte de la conception et de la construction ne représente que 10 à 20 % d'une phase d'utilisation typique de dix ans. Le présent rapport n'a pas pour objet d'examiner les mesures nécessaires pour réduire l'empreinte opérationnelle des équipes, des classes et des événements. L'équipe 11th Hour Racing Team publie des [rapports annuels sur la durabilité](#) qui traitent de l'empreinte opérationnelle de l'équipe.

## **KAIROS 2010**

Le rapport Kairos 2010 sur l'analyse du cycle de vie d'un bateau IMOCA a été réalisé par Quantis. L'écart de dix ans avec l'étude ACV 2 réalisée par l'équipe pour la construction du 11.2 en 2020 fournit un point de référence très pertinent et montre comment la classe IMOCA ainsi que les incidences de la conception et de la construction ont évolué au cours de cette période. Le document ACV de Kairos sera mentionné tout au long de ce rapport, et la comparaison des résultats se trouve dans le [Chapitre : RÉSULTATS FINAUX](#)

## **NORMES**

### **NET ZÉRO**

Appelant le secteur maritime à prendre des mesures pour s'aligner sur l'Accord de Paris, l'équipe s'est engagée à mener une campagne Nette Positive et régénératrice. L'Accord de Paris appelle les organisations à réduire leurs émissions de 45 % d'ici à 2030 et à atteindre le niveau zéro d'ici à 2050. Une partie essentielle de ce rapport consiste à comprendre à quoi pourraient ressembler la construction de bateaux et la voile de compétition dans un monde net zéro, et quelles sont les étapes pour y parvenir.

Une résolution des Nations unies lors du sommet sur le climat COP 24 à Katowice en 2018 a permis de reconnaître l'importance du sport comme catalyseur du développement durable<sup>2</sup> et le Comité international olympique a mis en place un dispositif de lutte contre le changement climatique dans le sport et un guide du carbone avec la CCNUCC et appelle les sports à passer à l'action<sup>3</sup>...

La stratégie d'action climatique net zéro de l'équipe consiste à mesurer, comprendre, réduire et compenser les empreintes d'émissions carbone, d'eau et de déchets liées à la construction et aux opérations, plus 10 % d'ici la fin de la campagne, afin d'obtenir un impact positif net.

## **NORMES GOUVERNEMENTALES ET INDUSTRIELLES**

Dans le contexte du secteur de la construction de bateaux de course au large performants, il est impératif d'intégrer la durabilité au sein même de la stratégie et des opérations du groupe d'études "Design & Build", un levier puissant pour catalyser le changement.

Compte tenu des tendances du marché telles que la rareté des ressources et les implications de la politique, il y a des avantages opérationnels évidents à réaliser. En investissant dans le développement d'innovations visant à améliorer l'efficacité de la fabrication, l'équipe peut remettre en question le modèle de croissance économique dominant qui semble suggérer qu'il est possible de réaliser une croissance infinie avec des ressources limitées.

---

<sup>2</sup>Assemblée générale des Nations unies (2018), *Le sport au service du développement et de la paix*. À retrouver [ici](#)

<sup>3</sup>IOC (2018), *Sport as an enabler of sustainable development*.

## **ISO 14044**

La norme ISO 14044 est une norme internationale qui spécifie les exigences et fournit des [lignes directrices relatives à l'analyse du cycle de vie](#)<sup>4</sup>

L'équipe est en train de définir sa propre ACV selon cette norme pour des raisons de crédibilité, de comparabilité, de processus et de méthodologie reconnaissables, et de transparence.

## **APER**

[APER](#) est une association à but non lucratif créée en 2009 par la Fédération française des industries nautiques, et le premier réseau de déconstruction de bateaux en Europe.

Avec plus de deux millions de bateaux de plaisance construits chaque année en Amérique du Nord et en Europe, l'un des principaux défis pour le développement du secteur est la récupération des matériaux, en particulier les déchets composites qui constituent la majeure partie du processus de déconstruction.

En confiant la responsabilité élargie de l'utilisateur aux fabricants de bateaux au moment de la construction et en facilitant le développement de réseaux de matériaux recyclés, l'APER intègre les éléments clés de l'économie circulaire dans l'industrie maritime.

## **RÉGLEMENTATIONS LOCALES EN MATIÈRE DE DÉCHETS**

Normes locales et européennes<sup>5</sup> de gestion des déchets et de récupération des ressources

## **UNFCCC**

Le dispositif des Nations unies pour le sport au service de l'action climatique (CCNUCC) invite les organisations sportives et leurs parties prenantes à se joindre à un nouveau mouvement d'action climatique dans le sport pour atteindre l'économie à émission net zéro en 2050, convenue par les dirigeants mondiaux à Paris.

Les principes directeurs de la CCNUCC en matière de sport sont les suivants :

- 1 : Entreprendre des efforts systématiques pour promouvoir une plus grande responsabilité environnementale
- 2 : Réduire l'impact global sur le climat
- 3 : Éduquer à l'action climatique
- 4 : Promouvoir une consommation durable et responsable.
- 5 : Promouvoir l'action climatique par la communication.

---

<sup>4</sup> <https://www.iso.org/standard/38498.html>

<sup>5</sup> La gestion des déchets et des ressources est décrite plus en détail dans la section sur la circularité.

## WORLD SAILING

World Sailing, l'organe directeur de ce sport, a publié son [Sustainability Agenda 2030](#) comme ligne directrice pour l'industrie. Deux des objectifs majeurs relatifs à la conception et à la construction du 11.2 par l'équipe sont les suivants :

- Définir des normes techniques d'ici 2030 pour réduire l'impact environnemental de l'industrie de la voile, en se concentrant sur la fin de vie des composites et des moteurs, ainsi que sur les technologies énergétiques.
- Adopter une approche scientifique, étayée par la recherche, pour comprendre notre impact et identifier des solutions.



## IMOCA

“Le 26 avril 2021, l'IMOCA a annoncé ses nouvelles règles de Classe pour 2022-25. Décrites comme "une évolution technique plutôt qu'une révolution", les règles prônent le développement durable, la sécurité, la performance et l'accessibilité - des valeurs partagées par tous les membres de l'équipe 11th Hour Racing Team. En dehors des aspects sportifs, pour nous, le véritable point fort est l'accent qui est mis sur la durabilité, encourageant les ingénieurs et les athlètes à adopter des mesures plus importantes pour réduire leur empreinte carbone". -

**Mark Towill, PDG de l'équipe 11th Hour Racing Team**



Voici une liste non exhaustive de certaines des règles et initiatives actuelles et futures de la Classe qui sont liées directement ou indirectement à la question de la durabilité :

### Règles de la Classe IMOCA 2021-2022

#### Matériaux :

- Une liste spécifique de matériaux autorisés
- Un poids minimum du stratifié de 150g/m<sup>2</sup>.
- Les fibres de carbone à haut module sont formellement interdites, sauf pour les bômes, les mats et les foils pour lesquels une courte liste de carbone HM autorisés est admise.
- Les nanomatériaux sont interdits, à l'exception des voiles.

#### Procédés de fabrication :

- Température maximale de 135°C pour la fabrication de la coque.
- Limitation de l'utilisation d'autoclaves, et pression maximale de 1,1 bar pour la construction sous vide.

#### Pièces monotypes et fournisseurs agréés :

- La Classe définit les éléments suivants comme relevant des fournisseurs agréés et/ou comme des composants monotypes : le mât, les barres de flèche, le gréement dormant latéral, le moteur, le système de quille, le voile de quille.

#### Mesure :

- Les systèmes de charge à énergie renouvelable sont retirés pour la mesure du poids en configuration légère.

### Règles de classe 2022-2025 (**Propositions en cours et/ou changements en gras**) :

L'**Approche** suivante s'ajoute au code environnemental IMOCA existant :

- **Contribuer à la préservation de l'environnement et à la protection de la biodiversité marine.**
- **Mettre en place toutes les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs annuels fixés par la Charte Teams IMOCA.**
- **Optimiser l'utilisation des énergies renouvelables dans le but d'être**

- **autosuffisant en énergie d'ici 2024.**
- **Adhérer au code environnemental de World Sailing**
- **Mesurer et comprendre son empreinte carbone afin d'atteindre les objectifs fixés par l'Accord de Paris en 2030.**

#### Général

- **Mettre en place une analyse du cycle de vie pour évaluer l'empreinte carbone en utilisant l'outil MarineShift360 dans le cadre de la construction de tout nouveau bateau.**
- **Les équipes peuvent proposer une solution alternative à la motorisation, en vue d'obtenir une exemption de mesure.**

#### Vie à bord, exigences obligatoires pour

- Eau potable et réservoirs d'eau douce.
- Toilette plombée

#### Voiles

- **Limitation du nombre de voiles par an.**
- **La fibre de carbone ne doit pas être utilisée dans les voiles.**
- **D'ici 2023, chaque concurrent devra avoir à son bord une "voile verte" parmi les huit autorisées sur les courses du championnat IMOCA Globe Series. La définition de la "voile verte" reste à préciser, mais la voile pourrait être fabriquée à partir de matériaux alternatifs et/ou être entièrement recyclable.**

#### Équipement

- La bôme sera monotype.
- Limitation du coût de l'équipement électronique sur mesure.

#### La règle du grand-père

- Encourage l'utilisation de bateaux plus anciens que 2013.

#### Matériaux

- Définition des **matériaux alternatifs**.
- Un nouveau poids minimum pour les plis de stratifiés - **200g/m2**.
- Le Nomex® (papier alvéolaire en aramide), la mousse (PVC et SAN) ou les **matériaux alternatifs** doivent être les seuls matériaux utilisés pour l'âme.

#### Méthode de construction

- Maximum de quatre types de nomex et deux types de mousse autorisés.

#### Mesure en configuration légère

- Les systèmes de chargement à partir d'énergies renouvelables **et les pièces non structurelles fabriquées à partir de matériaux alternatifs doivent être retirés pour la mesure en configuration légère, dans une limite de 100 kg (tbc).**

#### Certains sujets sont encore à l'étude :

- Moules - Construction de foils sans moules.
- Matériaux - retirer le Nomex de la liste des matériaux et le remplacer par des alternatives en nid d'abeille plus durables.
- Matériaux - ajouter le PET, le PET recyclé et les âmes biosourcées aux matériaux autorisés. Pour le moment, ils restent dans la règle non structurelle afin de tester leurs propriétés mécaniques avant de les ajouter aux pièces

- structurelles.
- Finition et peinture - interdiction de certains types de peintures présentant des niveaux élevés de composés organiques volatils (COV).

La Classe IMOCA est une organisation de membres. Les comités technique et du développement durable jouent tous deux un rôle important dans l'exploration et la définition des solutions qui seront les plus pertinentes pour atteindre des performances de classe mondiale dans le cadre d'une transition durable.

Un article récent sur les nouvelles règles de la classe IMOCA est disponible [ici](#) dans son intégralité.

## BILAN

- En discutant de sa politique durable et en partageant ses intentions, l'équipe 11th Hour Racing Team a eu l'opportunité de soutenir le travail d'élaboration de la Charte Teams IMOCA et de tester des matériaux pour aider à définir les règles.
- L'équipe a pu construire son nouveau bateau selon ces dernières, en optimisant non seulement les performances mais aussi sa durabilité.
- En comprenant et en s'alignant avec le dispositif des Nations unies pour le sport au service de l'action climatique (CCNUCC), l'équipe a eu accès à un certain nombre d'outils de suivi et de stratégies utiles pour soutenir son plan d'action climatique net zéro.

## RECOMMANDATIONS

- S'aligner sur les réglementations, les règles et les lignes directrices existantes permet aux parties prenantes de mettre en avant les meilleures pratiques et de promouvoir de nouvelles mesures audacieuses ainsi que les politiques durables qui les soutiennent.
- En adoptant une position proactive, l'industrie maritime peut fournir une orientation et rester en tête des nouvelles exigences de la politique.
- Le fait de s'inspirer d'autres secteurs industriels pour trouver des exemples d'approches législatives en matière d'innovation et de progrès contribuera à accélérer les progrès...



# **GROUPE D'ÉTUDES**

## **CONTEXTE**

L'objectif du groupe d'études "Design and Build" était de contribuer à l'adoption par l'industrie de la construction navale des principes de l'économie circulaire. Les principales parties prenantes comprennent l'équipe 11th Hour Racing, MerConcept, Guillaume Verdier Design Studio, CDK Technologies et Kairos. L'équipe a également identifié des groupes industriels tels que Composites UK, Sport and Sustainability International et The Ocean Race Sustainable Design and Build Workshop, afin d'en savoir plus sur les défis et les solutions de l'industrie, les technologies disponibles, les matériaux et les opportunités de collaboration.

## **ACTION**

La première réunion du groupe d'études en 2019 consistait à identifier les parties prenantes et à comprendre les besoins et les attentes des parties intéressées, suivi d'un examen des benchmarks existants, notamment l'analyse du cycle de vie de la campagne IMOCA par Kairos en 2010, qui a permis de définir d'autres axes à fort impact.

Le groupe a également examiné les leçons apprises dans d'autres circuits de course tels que les MOD 70, les Class 40 ou l'America's cup, ainsi que l'utilisation et le développement d'outils de soutien aux projets de conception et de construction durables, tels que l'outil d'évaluation du cycle de vie MarineShift360. Le groupe d'études s'est intéressé au marché actuel des matériaux alternatifs durables et a commandé un rapport sur les bio-composites auprès de Kairos, afin de mieux comprendre les matériaux qui pourraient devenir de bonnes alternatives à bord et à terre. D'autres réunions d'étude ont permis d'examiner le rapport sur les biocomposites et de définir les grandes lignes d'un audit environnemental réalisé en collaboration avec le service de construction de CDK Technologies.

Le groupe d'études a également participé et contribué activement au workshop "Sustainable Design and Build Workshop" lors de l'[Ocean Summit](#) à Gênes en septembre. Il a abordé l'état de l'industrie, les dernières meilleures pratiques en matière de gestion des déchets, une feuille de route pour le développement de règles durables, et une discussion sur les avantages et les défis d'une norme d'accréditation établie par l'industrie.

En 2020, l'équipe a tenu deux réunions à distance avec le groupe d'études pour présenter les recherches et poursuivre l'élaboration du plan. La première s'est tenue en mai 2020 et s'est concentrée sur les recommandations de l'audit environnemental concernant les installations de construction de bateaux, l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement et les processus de saisie des données d'analyse du cycle de vie, ainsi que sur la présentation des résultats des tests de PowerRibs et l'utilisation de carbone recyclé. La seconde s'est tenue en novembre 2020 et s'est concentrée sur les matériaux alternatifs, prenant connaissance des récents développements en matière de réutilisation, de recyclage, de récupération et de réaffectation des pièces composites en polymère renforcé de fibres, des fibres et des résines par le biais de [la conférence RECOMP de Composite UK](#). En outre, la réunion a permis de faire le point sur les règles proposées par l'IMOCA en matière de matériaux alternatifs, de passer en revue les éprouvettes des bio-composites de l'équipe et d'envisager la sélection d'autres composites à fabriquer à partir de matériaux à faible émission de carbone.

## BILAN

- Un groupe aligné sur la recherche de solutions durables.
- Des apports de connaissances et d'idées sur une plateforme industrielle collaborative.
- Une responsabilisation du groupe grâce à des réunions et des mises à jour régulières.
- Le développement et le soutien conjoints des nouvelles règles de la classe IMOCA en matière de développement durable.
- La mise en œuvre d'une approche biomimétique des composants tels que la cale moteur et les panneaux de pont.
- L'expérimentation et l'utilisation de fibres et de résines biosourcées.
- La mise en commun de la R&D avec les futures équipes afin de réduire le prix des composants fabriqués à partir de matériaux alternatifs et plus durables.
- L'opportunité d'apprendre et de partager nos défis et nos succès avec Composites UK, Sport and Sustainability International et The Ocean Race.

## RECOMMANDATIONS

- La constitution d'un groupe d'études dès le début permet d'utiliser au mieux les ressources et le calendrier existants.
- Le fait de placer clairement la durabilité à l'ordre du jour, et ce dès le départ, permet de s'assurer que les parties prenantes lui accordent l'importance et les ressources nécessaires, et qu'elles établissent des priorités en conséquence.
- La définition d'un ensemble d'objectifs de développement durable donne un but commun et une nouvelle façon d'envisager le succès, ainsi qu'une source de motivation allant au-delà du « business as usual ».



# CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT

"L'ampleur de l'impact de la chaîne d'approvisionnement est de plus en plus reconnue par les fournisseurs. Les émissions de la chaîne d'approvisionnement sont en moyenne 11,4 fois plus élevées que les émissions opérationnelles, soit plus du double des estimations précédentes, en raison de l'amélioration de la comptabilisation des émissions par les fournisseurs." **Rapport 2020 sur la Chaîne d'Approvisionnement du Carbon Disclosure Project**

## OBJECTIF

<b>Chaîne d'approvisionnement</b>	1. Dresser l'inventaire des composants, définir les quantités et les fournisseurs.
	2. Effectuer une recherche de parties prenantes et établir un code d'approvisionnement durable auprès des fournisseurs à fort impact.
	3. Demande de nomenclature des matériaux pour l'analyse du cycle de vie.
	4. Travailler ensemble sur des plans et des initiatives d'amélioration de la durabilité.

## ACTION

L'équipe s'est engagée auprès des fournisseurs par le biais d'un processus de découverte des parties prenantes, ce qui a permis une large discussion sur les enjeux, les impacts et les opportunités associés aux principaux produits ou services fournis à l'équipe. Avec la mise en place de la version 11.2, des efforts considérables ont été déployés pour tenir à jour l'inventaire des dépenses et des matériaux impliqués dans le projet.

En 2020, les dépenses de l'équipe ont été réparties entre 515 fournisseurs différents qui ont fourni à l'équipe des produits et services relatifs au bateau, au personnel, au transport, à l'hébergement et à d'autres produits et services (tels que les assurances, les services juridiques et la comptabilité). 90 % des dépenses totales de l'équipe de 2020 ont été effectuées auprès de 53 fournisseurs, dont 55 % pour des produits et services liés au bateau.

## BILAN

L'équipe s'est engagée auprès de 50 fournisseurs dans le cadre de son plan de recherche et d'engagement en matière de durabilité. 100% de ces fournisseurs ont exprimé leur volonté de collaborer au programme de durabilité et travaillent avec l'équipe pour co-crée et atteindre les objectifs et mettre en œuvre les initiatives. Ces fournisseurs sont les suivants : Ecoworks, Caraboni, C3, AMPM, Karver, Harken, Lorima, Diverse, Persico, Pixel sur Mer, Southern Spars, Marlow, MerConcept, CDK Technologies, Guillaume Verdier Design Studio, Multiplast et North Sails.

## ANALYSE DES 10 PRINCIPAUX FOURNISSEURS

Si l'on considère les fournisseurs externes (à l'exclusion du personnel de l'équipe), 52 % des dépenses totales de l'équipe ont été effectuées auprès de 10 fournisseurs :

### Top 10 des principaux fournisseurs

Fournisseur	Pourcentage des dépenses totales	Type de fournisseur	Localisation géographique	Niveau d'engagement
Fournisseur 1	22%	Services liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 1
Fournisseur 2	8%	Services liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 1
Fournisseur 3	5%	Services liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 1
Fournisseur 4	5%	Produits liés au bateau	Italie	Niveau 2
Fournisseur 5	4%	Services liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 1
Fournisseur 6	3%	Produits liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 1
Fournisseur 7	3%	Autres services	États-Unis	Niveau 3
Fournisseur 8	1%	Produits liés au bateau	France	Niveau 1
Fournisseur 9	1%	Services liés au bateau	Royaume-Unis	Niveau 3
Fournisseur 10	1%	Produits liés au bateau	Bretagne, France	Niveau 2

- Niveau 1 - Enquête sur la durabilité de la partie prenante terminée, plan d'engagement de la partie prenante en place et communications régulières.
- Niveau 2 - Enquête sur la durabilité de la partie prenante terminée
- Niveau 3 - La partie prenante n'a pas encore été impliquée

En 2020, 81% des dépenses des dix premiers fournisseurs de l'Équipe ont été investies dans la région Bretagne où cette dernière dispose d'une base temporaire.

## RECOMMANDATIONS

- En tant que client ou consommateur, l'influence la plus importante consiste à appliquer le principe d'approvisionnement durable à la chaîne d'approvisionnement : créer un protocole pour engager vos fournisseurs et partenaires...
- Intégrer le processus d'approvisionnement durable dans le système d'approvisionnement et de comptabilité de votre organisation.
- Considérer chaque conversation comme unique, et le fait qu'il existe certainement des solutions aux problèmes que vous rencontrez au sein d'autres organisations.
- Envisager la manière de travailler avec des fournisseurs motivés afin d'explorer plus en profondeur leur propre chaîne d'approvisionnement, l'objectif ultime étant la transparence du processus de la matière première au produit final.

# AUDIT ENVIRONNEMENTAL

## OBJECTIF

Les installations de construction navale de CDK Technologies avaient déjà commencé à mettre en place une série de pratiques durables avant l'arrivée de l'équipe. Cette approche positive a permis aux deux parties de discuter ouvertement des défis en matière de durabilité et des solutions associées à la construction d'un nouveau bateau de course.

L'équipe a entrepris un audit des installations de construction de bateaux, permettant aux deux parties de mieux comprendre et anticiper les différents impacts associés au processus de conception et de construction. Une attention particulière a été accordée aux matériaux, aux méthodes de production, aux déchets, à l'énergie, à l'eau et aux déplacements.

Objectifs de l'audit :

1. Comprendre et cartographier l'infrastructure de construction navale.
2. Comprendre les flux de matériaux et de services entrant et sortant de l'installation.
3. Faire des recommandations pour guider les constructions futures.
4. Créer des templates pour suivre efficacement les informations générées dans le cadre de l'analyse du cycle de vie.

## ACTION

Une décision clé pour l'équipe a été de baser ses opérations en Bretagne, en France, se plaçant ainsi au centre de l'industrie maritime. Cette décision peut être considérée comme un gage d'efficacité. En détail, elle a permis d'améliorer les performances de l'équipe de la manière suivante :

- La création de nouveaux partenariats.
- Un accès à des compétences spécialisées et à une base de connaissances.
- L'amélioration de l'allocation des ressources.
- L'optimisation des calendriers et l'amélioration des délais.
- La réduction des distances de transport de la chaîne d'approvisionnement.
- Un accès à une main-d'œuvre locale qualifiée.
- La réduction globale de tous les impacts environnementaux associés.

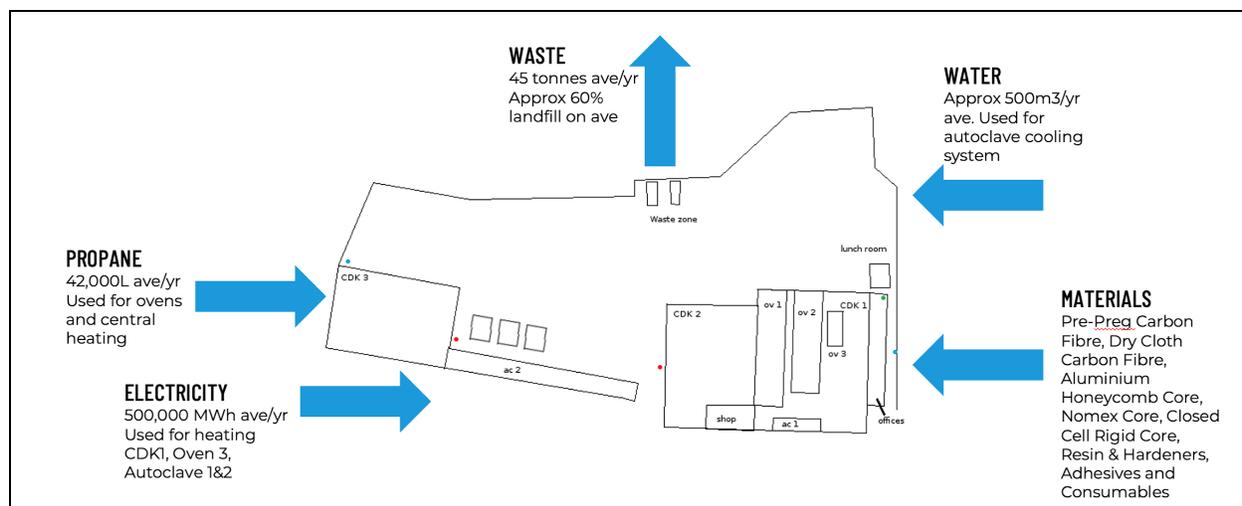
Cette décision simple, mais vitale, qui a placé l'équipe au centre de la communauté maritime, lui a donné la meilleure occasion de promouvoir un véritable virage durable.

## TRACKING

Dans le cadre du processus d'audit, l'équipe a suivi pendant une année les déplacements domicile-travail et sur site, la consommation d'énergie, la consommation d'eau des autoclaves et des bureaux, la production de déchets, tout en explorant les tendances et les perspectives d'amélioration. Voici quelques exemples des mesures positives prises.

## INFRASTRUCTURE CDK

Pour commencer, l'équipe d'audit a examiné les activités, les installations et l'infrastructure de CDK Technologies afin de comprendre le processus de gestion des matériaux et les flux d'énergie entrant et sortant du site.



## ÉNERGIE RENOUVELABLE

CDK Technologies bénéficie d'un tarif spécial pour les énergies renouvelables, ce qui a un impact important sur l'empreinte globale du bâtiment (voir le [Chapitre ÉNERGIE](#)). Par le biais de son contrat de fournisseur d'électricité, CDK contribue au développement de plusieurs projets de compensation, notamment la reforestation, le développement des énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, entre autres, dans le but d'atteindre des émissions nettes de CO<sub>2</sub> nulles (production d'électricité décarbonée). Le gaz naturel est acheté localement auprès d'un fournisseur de bio-méthane.

## GESTION DU MATÉRIEL

Un élément clé de la gestion des matériaux tout au long de la construction chez CDK Technologies consiste en un système intégré de gestion des matériaux qui suit en détail les ressources depuis la commande jusqu'au produit final ou au traitement des déchets. Ce système de gestion des matériaux a été adapté pour intégrer la nomenclature de l'inventaire de l'analyse du cycle de vie.

## GESTION DES DÉCHETS

CDK Technologies a mis en place un cours de gestion des déchets pour les chefs d'équipe internes en 2017 après qu'un nouveau service de déchets ait été mis en place, ce qui a augmenté leur taux de recyclage de 10% à 55% de leur répartition annuelle. Ils continuent de rechercher des opportunités de réduction des déchets grâce à des logiciels de gestion des stocks, à la réorientation des déchets de fabrication vers d'autres industries, à des initiatives de retour des emballages avec les fournisseurs, et à la recherche de filières locales alternatives à la mise en décharge pour le reste de leurs déchets.

## BILAN

L'audit a abouti à une liste de conclusions et de recommandations pour le chantier naval et le processus de construction, mettant en évidence les principaux éléments à prendre en compte lors de l'évaluation du cycle de vie d'un nouveau bateau de course.

En 2020, les installations de construction de CDK Technologies ont commencé à mettre en œuvre certaines des actions de l'audit environnemental de 2019 commandé par l'équipe. Parmi les réalisations de CDK Technologies, citons :

- Isolation du toit du bâtiment principal de fabrication à Port La Forêt.
- L'énergie provient d'un tarif spécial 100% renouvelable.
- Des économies de fabrication, notamment une réutilisation de 30 % des matériaux en acier structurant le mannequin, ont permis une réduction de la consommation d'énergie d'environ 30 000 MJ.
- Un nouveau partenariat a été établi avec des fabricants locaux de fenêtres qui récupèrent les déchets de carbone de CDK Technologies pour les transformer en nouveaux produits.
- D'ici à la fin de l'année 2021, CDK sera passé à l'éclairage LED pour l'ensemble du site. Cet éclairage dure généralement cinq fois plus longtemps que l'équivalent fluorescent et il a été démontré qu'il permettait de réaliser des économies d'énergie de 20 à 30 %, ce qui entraînera des économies annuelles permettant d'amortir les coûts d'installation.
- Une nouvelle filière de recyclage du film pré-imprégné (PE et PP, pour un volume d'environ 2 tonnes par an), par l'intermédiaire d'un entrepreneur local de déchets qui le collecte et le traite en vue d'une refabrication. Économies : 528 kg de CO<sub>2</sub>e par an.

## RECOMMANDATIONS

- Intégrer la durabilité dans les contrats et les systèmes d'établissement de rapports, en soulignant les opportunités de valeur ajoutée plutôt que des contraintes onéreuses.
- Acceptez l'existence de défis et d'obstacles ; ce sont les occasions de créer un véritable changement.
- Tout processus nécessite de l'énergie, c'est un point de départ pour une construction durable. Demander à vos constructeurs et à vos fournisseurs de passer à un tarif d'énergie 100 % renouvelable est probablement un gain important dès le départ.
- Examinez comment est attribuée la responsabilité des impacts environnementaux, par exemple :
  - Systèmes de gestion des matériaux.
  - Responsabilité élargie du fabricant.
  - Gestion des déchets.
  - Analyse du cycle de vie.
- Les améliorations de l'infrastructure et des systèmes permettent non seulement de réduire directement l'impact pour du commanditaire et de la campagne, mais peuvent également être considérées :
  - Au prisme de la compensation<sup>6</sup>.
  - Comme un héritage positif net au profit des autres.

---

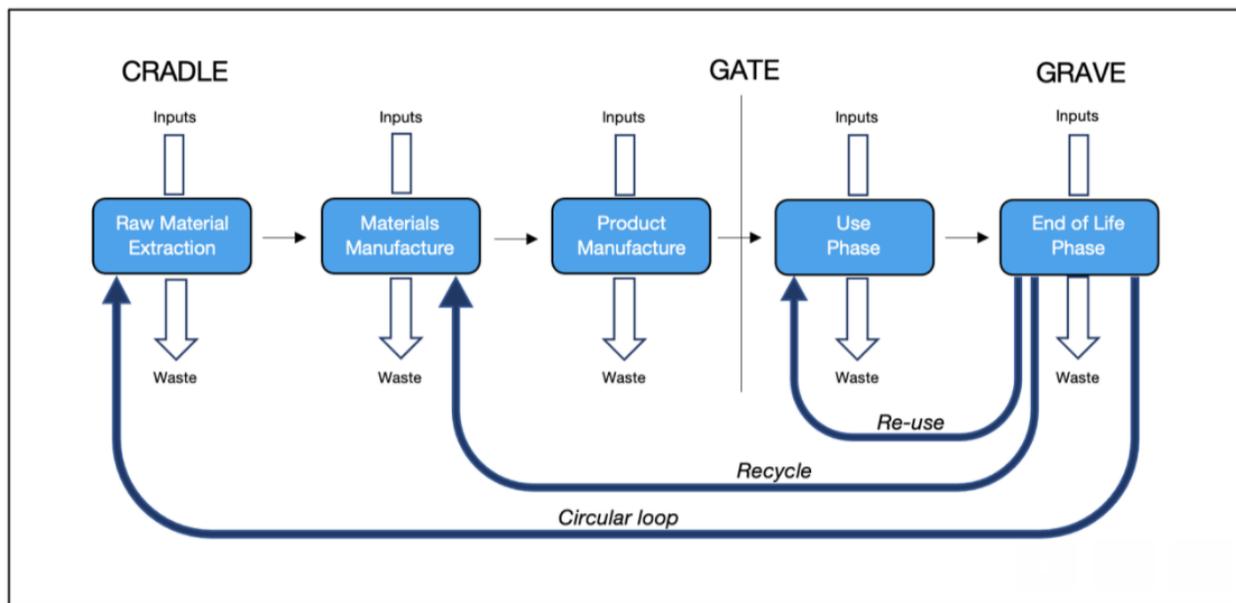
<sup>6</sup> Faisant suite aux meilleurs efforts pour optimiser et réduire les impacts climatiques négatifs associés aux activités d'une organisation, la compensation carbone est un investissement de l'organisation dans des projets de réduction des émissions au sein de sa chaîne de valeur. Contrairement à la réduction des émissions dans des projets externes de protection du climat (projets de compensation carbone), les fonds destinés à la protection du climat restent dans le cycle de création de valeur de l'organisation.

# ANALYSE DU CYCLE DE VIE

## INTRODUCTION

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie 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.

L'ACV vise à quantifier scientifiquement les incidences environnementales qui découlent des entrées et sorties de matériaux, de l'utilisation d'énergie, des émissions dues au transport et à la gestion des déchets.



**Source : Présentation de Michel Marie pendant le Workshop de The Ocean Race, 2020**

L'éco-conception est une démarche qui permet de prendre en compte l'environnement en conciliant nos modes de production avec les ressources limitées de la planète Terre. Elle consiste donc à intégrer le facteur environnemental dès la phase de conception d'un produit ou d'un service dans le but de réduire et d'anticiper les impacts liés aux différentes étapes du cycle de vie.

En plus des bénéfices environnementaux, l'éco-conception apporte également des bénéfices économiques et stratégiques pour l'entreprise. Les outils d'analyse environnementale permettent d'identifier les points faibles d'un produit ou d'un service et de définir des leviers d'amélioration qui peuvent avoir un impact sur la réduction des coûts des matériaux et des processus, et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement. D'un point de vue stratégique et moral, cette démarche innovante permet également à l'entreprise de se positionner par rapport à la concurrence grâce à une meilleure connaissance de ses produits et du respect des normes environnementales.

## OBJECTIFS DE L'ACV

L'IMOCA, une Classe au développement complexe, constitue un laboratoire réel pour aborder l'ensemble des impacts environnementaux de l'industrie nautique. Conformément à cette approche, la Classe IMOCA a établi de nouvelles règles pour 2021 et a défini des objectifs tels que l'obligation de réaliser une analyse du cycle de vie pour toute nouvelle construction de bateau.

CDK Technologies, constructeur du nouvel IMOCA de l'équipe, le 11.2, est un partenaire pilote engagé dans le développement de l'outil ACV MarineShift360. CDK Technologies aide la Classe IMOCA à définir des objectifs réalisables pour réduire les empreintes environnementales.

L'objectif de l'équipe dans le cadre du processus d'ACV est de quantifier l'impact environnemental du procédé de fabrication du bateau afin d'identifier, d'appliquer et de partager les meilleures pratiques en matière de durabilité. Cet objectif global est décomposé en trois objectifs opérationnels :

1. Développer et pérenniser une procédure de collecte de données adaptée à l'industrie maritime et au domaine de la construction en carbone composite de haute performance en réalisant un inventaire complet des matériaux, des procédés, des transports, etc.
2. Déterminer les avancées réalistes, réalisables et techniquement viables de toute nature (matériaux, procédés, méthodes, etc.) afin de réduire l'empreinte environnementale des futurs bateaux.
3. Établir une nouvelle référence pour la conception et la construction d'un IMOCA.

## MARINESHIFT360

MarineShift360 est le fruit d'une collaboration basée sur un partenariat international soutenu par 11th Hour Racing en tant que sponsor fondateur. L'objectif étant de mettre au point un outil d'évaluation du cycle de vie adapté à l'industrie maritime permettant d'évaluer et de comparer les matériaux et les processus, d'explorer les alternatives et de stimuler l'innovation pour favoriser des choix éclairés, écologiquement et économiquement durables.

Le modèle MarineShift360 est un outil adapté à l'industrie maritime qui fournit une évaluation complète des matériaux et des processus utilisés dans la construction de bateaux. La méthodologie utilisée dans le modèle a été revue par les experts en ACV d'Anthesis pour s'assurer qu'elle est conforme aux meilleures pratiques et qu'elle permet de produire des rapports conformes à la norme ISO14044. La base de données qui sous-tend l'outil est constituée de recherches primaires menées sur un certain nombre de produits et de processus nautiques, ainsi que de données provenant d'un large éventail de sources tierces, dont, par exemple, la base de données européenne LCI.

L'outil d'évaluation du cycle de vie MarineShift360 est certifié conformément aux normes relatives à l'évaluation du cycle de vie : ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006. Les modèles de calcul, l'approche et le template de rapport de MarineShift360 sont conformes aux normes relatives à l'analyse du cycle de vie : ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006. MarineShift360 est un outil d'évaluation du cycle de vie conforme et certifié à la norme ISO 14040:2006 / ISO 14044:2006.

Les résultats et les rapports individuels générés par l'utilisation de MarineShift360 doivent être examinés séparément pour confirmer la conformité aux normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006, si la conformité à ces normes est requise par l'utilisateur de l'outil.

La base de données sur laquelle repose l'outil est fournie par un fournisseur agréé qui a calculé les points de données primaires en utilisant la bibliothèque Ecoinvent 3.6 et SimaPro9.1. Pour une série de processus de fabrication et de matériaux spécifiques à l'industrie maritime, MarineShift360 a dérivé les points de données primaires en utilisant les informations fournies par des partenaires pilotes et des spécialistes de l'industrie maritime.

L'outil ACV MarineShift360 a fourni à l'équipe une approche simplifiée pour calculer les empreintes carbone, eau, déchets, toxicité et énergie de la conception et de la construction du 11.2.

**Les calculs de MarineShift360 utilisés dans ce rapport proviennent de l'outil bêta MarineShift360 prélevés en octobre 2021.**

## UTILISATEUR PILOTE

En tant que partenaire pilote de MarineShift360, l'équipe a passé un temps considérable à tester les fonctionnalités, à fournir des commentaires et à contribuer au développement de l'outil, au profit de l'industrie de la navigation de plaisance et de performance. Environ un tiers du temps consacré à l'ACV 1 et à l'ACV 2 a été utilisé pour fournir du feedback, rationaliser et contribuer à la convivialité de l'application Web pour le bénéfice des futurs utilisateurs.

## RESSOURCES

Plutôt que de payer un consultant externe pour produire une analyse du cycle de vie pour l'équipe, il était important de développer les compétences en interne, d'ouvrir des opportunités de stages et de soutenir la création de MarineShift360, un outil simplifié en libre accès développé par 11th Hour Racing pour l'industrie.

L'équipe a affecté un stagiaire à plein temps à l'analyse du cycle de vie pendant 14 mois, avec un soutien spécialisé du Responsable de la Durabilité de 11th Hour Racing Team. Les fournisseurs et les sous-traitants ont consacré beaucoup de temps et fourni des informations et des données sur les composants du bateau. Sur la base du travail de l'équipe, voici la répartition du temps nécessaire à la réalisation de l'étude ACV et du rapport.

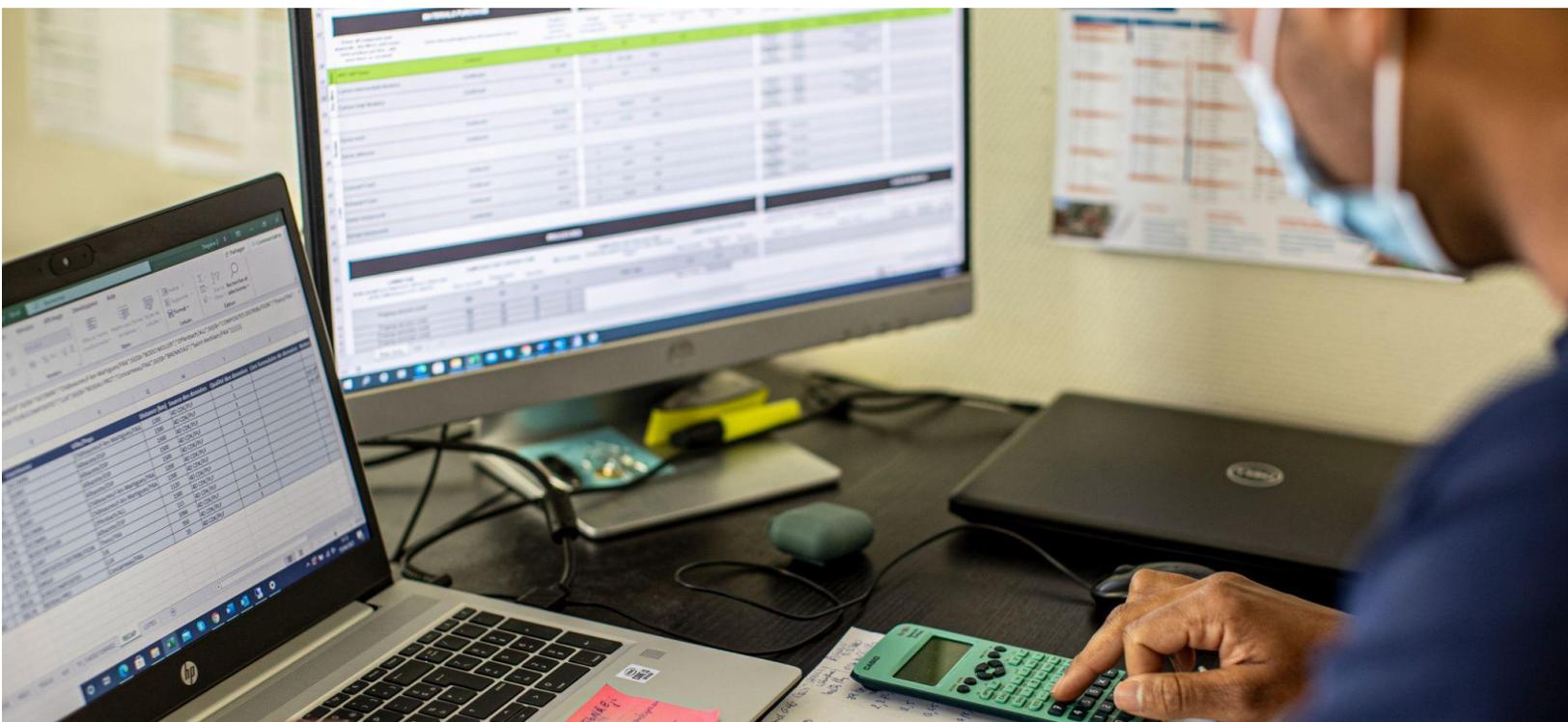
Tâches		Jours		
		Staff	Interne	Fournisseur
ACV 1	Analyse benchmark	20	1	
ACV 2	Développement de l'inventaire	1	1	
	Implication des parties-prenantes	10	15	10
	Collecte de données collection	10	20	16
	Analyse de données	20	40	

	Analyse de résultats	5	10	
	Rapport ISO	2	3	
<b>Rapport D&amp;B</b>	Création et compilation	30	2	
<b>Total des ressources humaines</b>		98	92	26

L'équipe a réalisé cette évaluation en haute résolution du cycle de vie d'un IMOCA construit en 2021 pour en faire bénéficier la classe IMOCA, les équipes et l'ensemble de l'industrie maritime comme un nouveau point de référence.

Les constructions futures, les nouveaux processus de fabrication et les meilleurs matériaux nécessiteront de nouvelles études actualisées. Bien que la construction et le processus restent comparables à ceux de la version 11.2, une simple mise à jour de cette étude est suggérée ici :

Tâches		Jours	
		Staff	Fournisseurs
<b>ACV</b>	Développement de l'inventaire	2	
	Implication des parties-prenantes	10	5
	Collecte de données collection	10	5
	Analyse de données	10	
	Analyse de résultats	2	
	Reporting	5	
<b>Total des ressources humaines</b>		37	10



## ACV 1

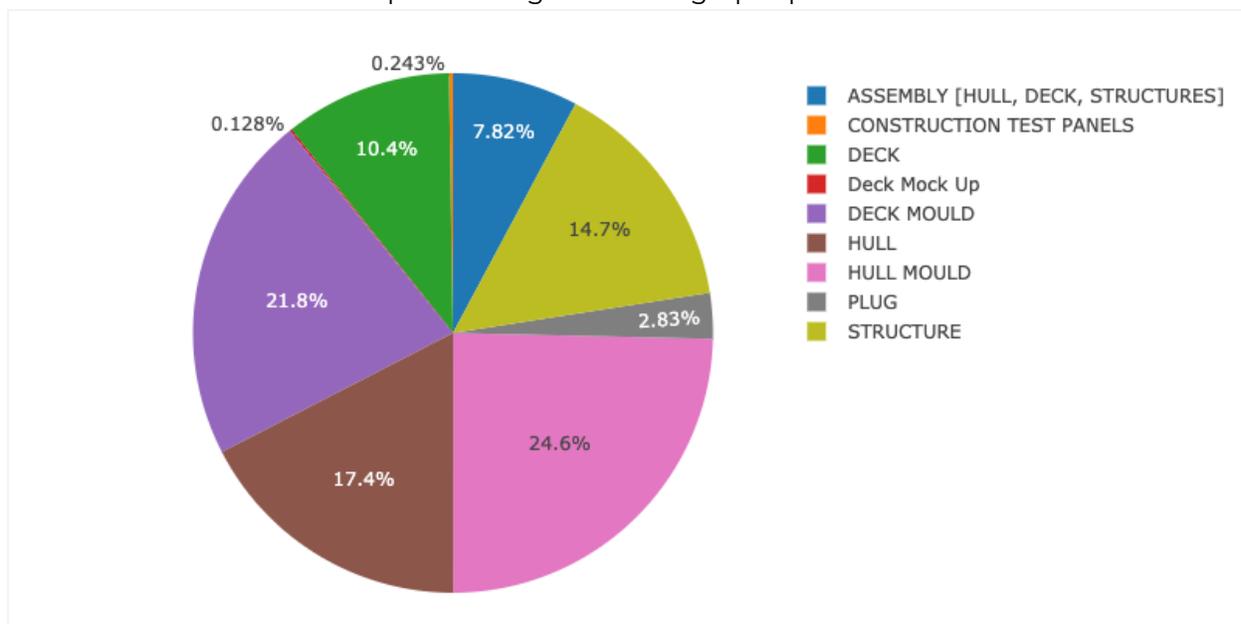
L'équipe a réalisé une ACV à l'aide du logiciel bêta fourni par MarineShift360 pour déterminer l'empreinte d'une construction théorique d'un IMOCA dans le but d'identifier les points critiques d'impact et de créer des études de cas pour comparer le statu quo du « business as usual » avec d'autres initiatives de développement durable.

Cette analyse a permis d'obtenir des informations sur les principales problématiques environnementales de la construction, en mettant en évidence les "points critiques" des matériaux et des processus. Ces informations ont été utilisées pour aider à identifier les meilleures pratiques et les domaines à améliorer. Cette étude a également été comparée à un scénario 2010 et à un scénario 2020 afin de mettre en évidence l'évolution des points critiques au fil du temps et de valider la collecte et le traitement des données.

Principaux constats :

- L'empreinte totale calculée était de 586 tonnes métriques de CO<sub>2</sub>e.
- Les composants de la construction (coque, pont, moules, assemblage et structure) représentaient 50 % de l'empreinte carbone de la construction totale.
- Viennent ensuite les appendices, avec 27 % des émissions de gaz à effet de serre (quille, safrans, foils et leurs puits).
- L'équipement mécanique représentait 13 % (incluant l'hydraulique, l'électronique, l'accastillage et la machinerie).
- Le gréement représentait 6% (incluant le gréement dormant, le gréement courant et le mât).
- Les voiles représentaient 4% (comprenant sept voiles).

En se concentrant uniquement sur la construction de la coque et du pont, pour laquelle des données d'entrée détaillées étaient disponibles, l'impact du mannequin et des moules est devenu évident. Ensemble, ils représentent **50%** de l'assemblage de la coque et du pont, soit **25%** du bateau mis à l'eau et prêt à naviguer. Voir le graphique ci-dessous.



Graphique : Répartition de l'impact des émissions de gaz à effet de serre de la construction composite ACV1 par composant à partir du logiciel MarineShift360 beta

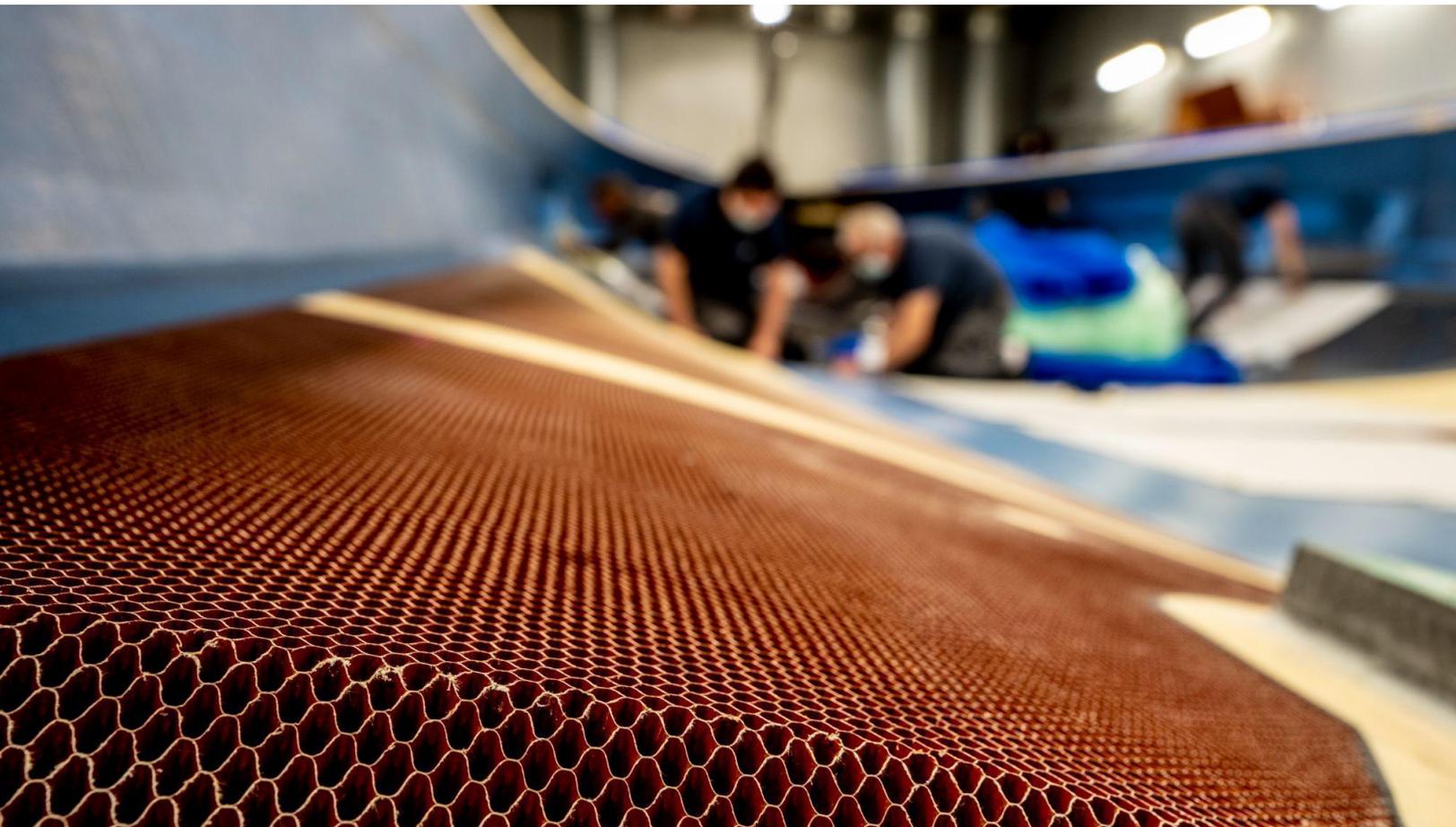
## RECOMMANDATIONS

Les principales recommandations du rapport sont les suivantes :

- Étude : une étude supplémentaire est nécessaire pour déterminer la consommation énergétique exacte des processus d'usinage à commande numérique par ordinateur (CNC).
- Approvisionnement en bois certifié PEFC : l'utilisation de bois certifié PEFC dans la maquette du pont a permis de réduire l'impact de 375 kg CO<sub>2</sub>e à 330 kg CO<sub>2</sub>e. Tout le bois doit être certifié PEFC ou FSC en raison des avantages liés à l'approvisionnement dans des forêts gérées durablement.
- L'utilisation d'énergies renouvelables : les installations alimentées à 100 % par des énergies renouvelables ont une empreinte nettement plus faible.
- Tester des composites alternatifs dont le carbone incorporé est inférieur à celui de la fibre de carbone pour les pièces non structurales.

Recommandations générales pour les constructions futures :

- L'utilisation d'un moule femelle uniquement, sans mannequin, réduirait l'empreinte des futures constructions de 1,6 %, soit 8,3 tonnes métriques, ce qui équivaut à 33 500 kilomètres parcourus par un véhicule passager moyen.
- Utiliser du carbone recyclé dans le moule,
- Passer à un fournisseur d'énergie renouvelable pour les processus de fabrication est le meilleur moyen de réduire l'empreinte de la construction. L'étude de construction s'est déroulée en France, où l'énergie a un faible taux d'émission de carbone ; par rapport à une construction européenne moyenne, l'IMOCA 2018 avait une empreinte globale d'environ 30 % inférieure.



## ACV 2

### CONTEXTE

L'étude suivante a été entreprise pour déterminer l'empreinte de la construction du nouvel IMOCA 11.2, en France, de 2019 à 2021. L'équipe 11th Hour Racing Team a réalisé cette étude en collaboration avec ses partenaires afin de développer une nouvelle référence pour l'industrie et de formuler des recommandations pour les futures constructions. Le but ultime étant d'aligner le secteur avec les Accords de Paris, qui prévoit une réduction des émissions carbonées de 45 % d'ici 2030 et une réduction nette zéro d'ici 2050.

### OBJECTIFS & PORTÉE

- Les objectifs de l'étude sont les suivants :
- Évaluer les impacts environnementaux de la construction de l'IMOCA 11.2.
- Identifier les pistes d'amélioration et évaluer les gains environnementaux potentiels.
- Fournir une méthodologie de collecte de données reproductible et un processus simplifié pour les futures constructions de la Classe IMOCA.

Les indicateurs d'impact et les circuits de consommation choisis pour cette étude, représentés par défaut dans MarineShift360, sont présentés dans le tableau suivant :

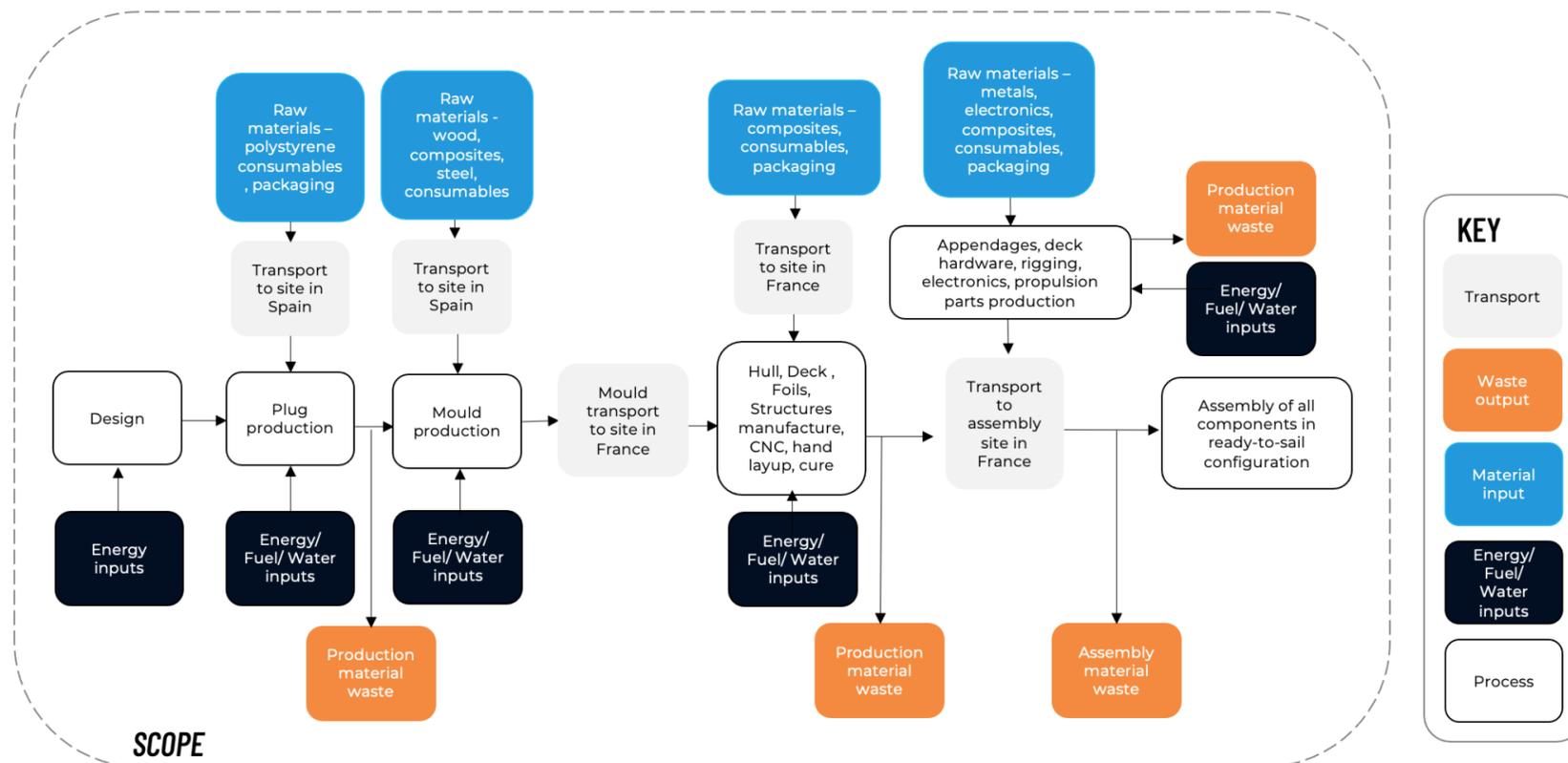
**Tableau : Indicateurs d'impact**

MarineShift360 - Octobre 2021		
Catégorie d'impact	Unité	Méthode d'impact
Réchauffement climatique	Kg CO <sub>2</sub> -eq*	ReCiPe 2016 v. 1.10
Épuisement des ressources minérales	Kg Cu-eq	ReCiPe 2016 v. 1.10
Eutrophication marine	Kg N-eq	ReCiPe 2016 v. 1.10
Consommation en eau	m <sup>3</sup>	ReCiPe 2016 v. 1.10
Énergie non-renouvelable	MJ	Demande énergétique cumulative
Énergie renouvelable	MJ	Demande énergétique cumulative

**\*équivalent**

Une description détaillée de ces indicateurs est présentée dans les interprétations du [sous-chapitre : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ANALYSE](#).

L'étude couvre le cycle de vie de 11.2, de l'extraction des matières premières à sa mise sur le marché (du bers à l'utilisation).



Graphique : Portée de l'analyse du cycle de vie 11.2

L'**unité fonctionnelle** décrit qualitativement et quantitativement la ou les fonctions ou le ou les services fournis par un IMOCA.

La principale unité fonctionnelle est la suivante : le cycle de vie d'un IMOCA assemblé et prêt à naviguer, construit en France, hors <sup>7</sup> phase d'utilisation et fin de vie.

<sup>7</sup> Les phases d'utilisation et de fin de vie sont traitées dans des chapitres distincts du rapport de conception et de construction.

## INVENTAIRE

L'inventaire de production, regroupant tous les éléments entrants (quantité de matériaux et d'énergie consommée), est une étape décisive de l'analyse. Le poids total du 11.2 tel que construit et prêt à naviguer est de 8,6 tonnes métriques.

Le tableau ci-dessous met en évidence la répartition du poids par groupe tandis que [l'inventaire du système de production](#) détaille tous les composants inclus dans le champ de l'étude.

L'énergie utilisée pendant le processus de fabrication a également été prise en compte.

**Tableau : Répartition de l'inventaire par poids**

GROUPE	Poids (kg)	%
Appendices	800	10
Équipement	800	10
Coque/Pont/Structure	2,500	29
Quille	3,500	39
Gréement	500	6
Voiles	500	6



**Tableau : Flux de matériaux et de processus**

Transport	Déchets	Matériaux	Énergie, fuel, eau	Processus
90% route locale 5% route européenne 5% voie aérienne internationale	25 tonnes métriques	34 tonnes métriques	kWh & Litres	45.000-50.000 heures de travail coque et pont

# INVENTAIRE DU SYSTÈME DE FABRICATION

LCA 2

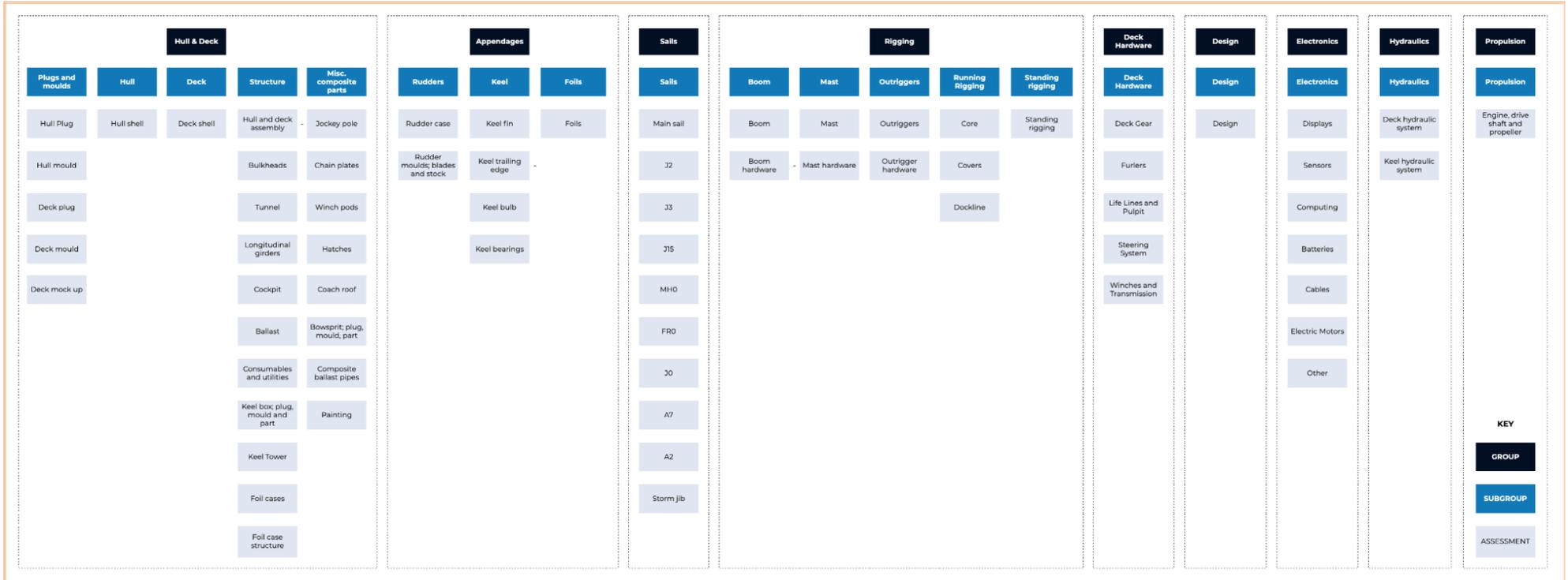


Schéma : Représentation de l'inventaire complet de l'évaluation du cycle de vie de l'IMOCA 11.2  
[Télécharger ici le document pour l'agrandir](#)

## COLLECTE DE DONNÉES - EXAMEN DU PROCESSUS

La qualité des données affecte directement la qualité des résultats de l'ACV, c'est pourquoi l'équipe a élaboré des procédures rigoureuses pour garantir le maintien de normes élevées et précises.

L'objectif final était d'établir une méthodologie commune pour la collecte des données.

- Cela permet de faciliter la récupération et l'analyse cohérentes des données provenant des diverses parties prenantes de la vie d'un bateau (conception, fabrication, exploitation et déconstruction).
- L'utilisation de formulaires de saisie est la méthode la plus adoptée par les praticiens de l'ACV car ils regroupent toutes les informations nécessaires (quantité de matériaux, distance du fournisseur, processus de fabrication, scénario de fin de vie, etc.) et sont assez simples à utiliser par les sous-traitants.
- Afin de rationaliser le processus de collecte des données, l'équipe a créé plusieurs formulaires de saisie spécifiques au type de matériau utilisé pour les composants (bois, métal, composite, etc.).

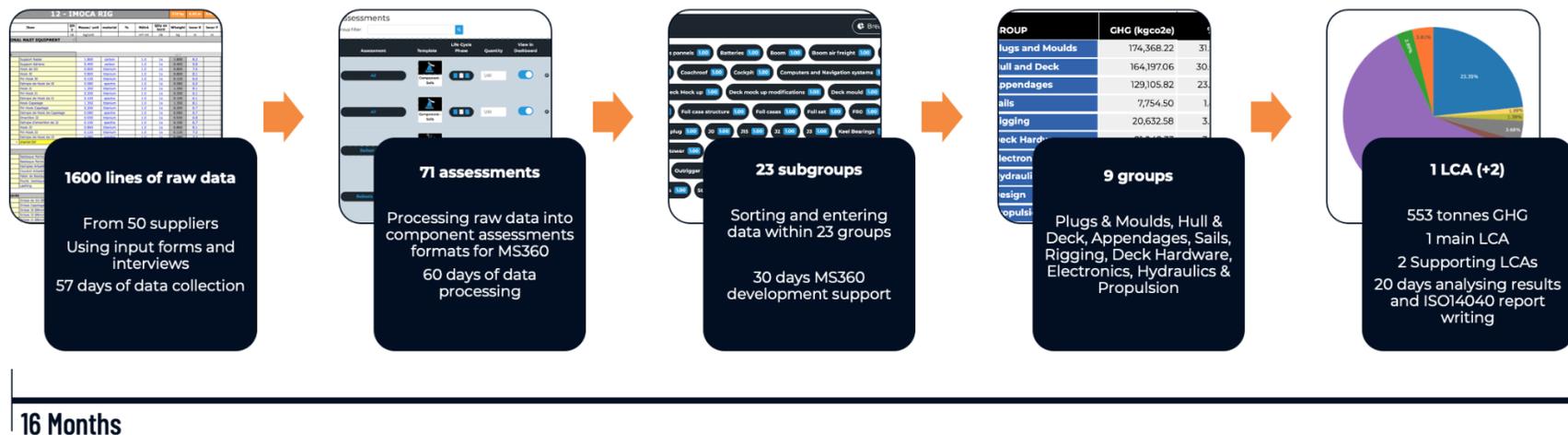


Schéma : description du processus de récupération et de traitement des données pour l'Analyse du Cycle de Vie



Procédure de collecte de données  
**ICV 11-2**

Code : **PROICV\_11-2**

Version : 1.1

Date de création : 28/10/2020

Page : 1/1

**Objectif**

Cette procédure regroupe les différentes étapes de collecte de tout types de données (mesurées, calculées et estimées) en accord avec la norme ISO 14044:2006.

**Domaine d'application**

11-2 CDK LCA system boundaries

**Liens autres documents**

ISO14040/14044 (4.3.2)

**Tâches**

**Description**

**Moyens**

**Acteurs**

1- Préparation de la collecte de données

Lister chaque processus/produits appartenant au système ainsi que le type de données nécessaires.

Fichier nomenclature 11-2

Référent ACV  
Responsable qualité  
Chef de projet

2- Recueil des données brutes

Réaliser l'inventaire des matières premières, consommables, fournisseurs, transport et énergie consommée pour chaque processus/produits.

Fichiers exports 4D, gammes de fabrication, programmes de cuisson...

Référent ACV

3- Estimation de la qualité des données

Vérifier les unités et le niveau de confidentialité des données.

Fichier recap

Référent ACV  
Responsable qualité

4- Regroupement des données

Convertir les données brutes en catégories de données spécifiques au processus/produit.

Formulaires de données

Référent ACV

5- Validation des données

Comparer les valeurs avec un existant. Des estimations peuvent être nécessaires si certaines données sont manquantes ou incohérentes.

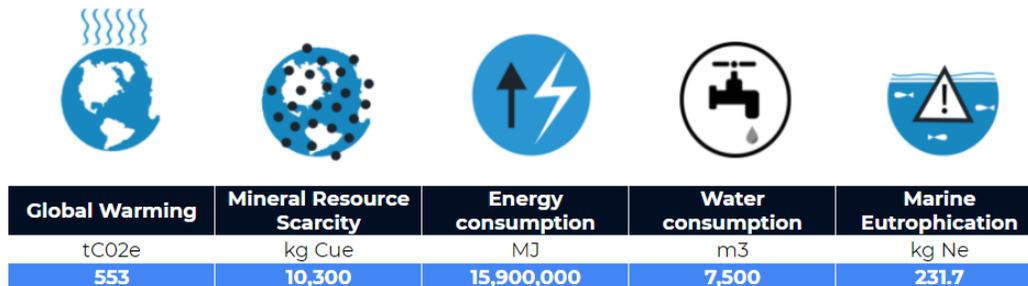
ACV 1

Référent ACV Responsable qualité  
Chef de projet

## ANALYSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS : ACV 11.2

L'analyse du cycle de vie de la conception et de la construction de l'IMOCA 11.2 de l'équipe 11th Hour Racing Team a abouti à trois principaux résultats<sup>8</sup> :

- Les impacts environnementaux en valeur absolue pour la principale unité fonctionnelle.
- La répartition des émissions de gaz à effet de serre (GES) par groupe et sous-groupe.
- L'analyse de la contribution des étapes du cycle de vie aux impacts environnementaux.

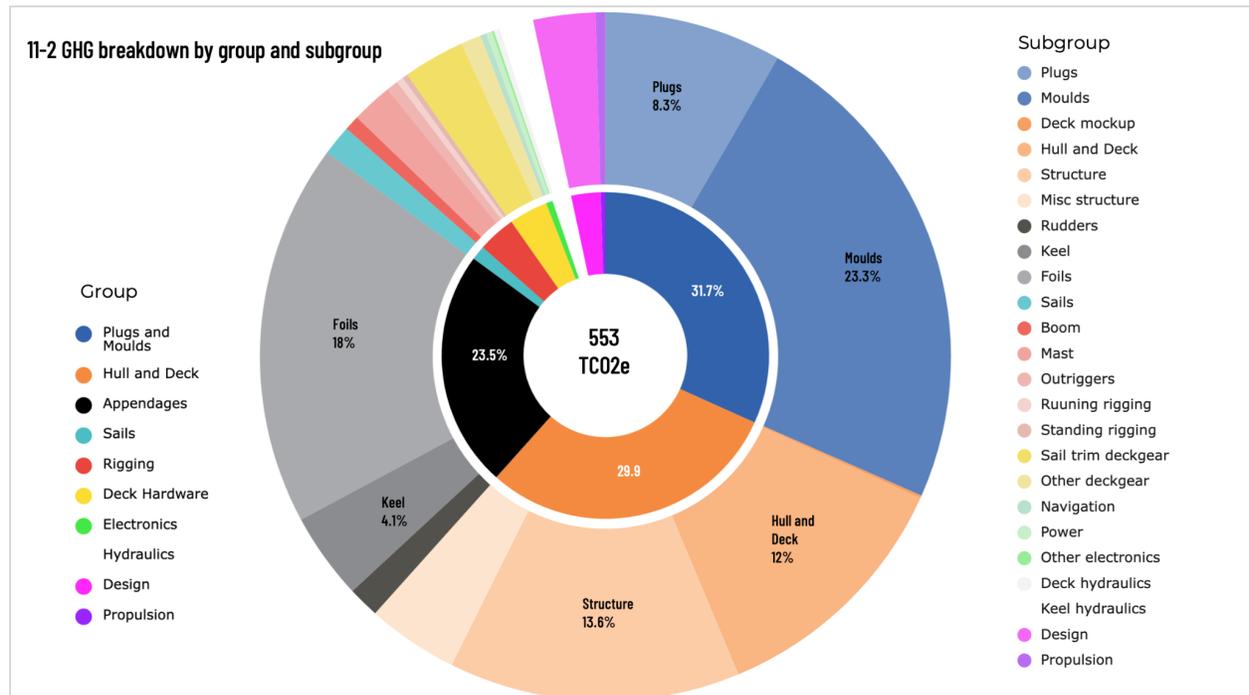


Pour mettre cela en contexte :

- **Le potentiel de réchauffement de la planète** correspond à l'émission totale de gaz à effet de serre, soit **553 tCO2e** (tonnes métriques d'équivalent dioxyde de carbone CO2e). Cette quantité équivaut à 2,2 millions de kilomètres parcourus par un véhicule passager moyen, ou à la consommation électrique annuelle de 100 foyers américains, ou encore à la fabrication de 100 voitures Renault moyennes.
- **L'épuisement des ressources minérales** représente l'extraction totale de minéraux sur les réserves disponibles (exprimée en Cue - équivalent cuivre). Les ressources minérales nécessaires pour construire 11.2 étaient de **10 300 kgCue**, soit assez pour produire 130 voitures électriques.
- **La consommation d'énergie** est l'énergie consommée par la production de matériaux et le processus de construction de l'IMOCA était de **15,9 millions de MJ**, ce qui équivaut à la consommation d'énergie de 370 foyers américains pendant un an.
- **La consommation en eau** représente la quantité totale d'eau utilisée dans la production des biens et services associés à la conception et à la construction de l'IMOCA. Le total, soit **7 500 m3** (7,5 millions de litres ou 2 millions de gallons US), équivaut à trois piscines olympiques, 50 000 bains ou à la consommation annuelle d'eau de 115 personnes aux États-Unis.
- **L'eutrophisation marine**, exprimée en équivalent azote, est la modification et la dégradation d'un milieu aquatique dues à un apport excessif de nutriments, notamment d'azote et de phosphore, associés à des matériaux et/ou des procédés. L'impact de la conception et de la construction de l'IMOCA était de **231,7 kgNe**.

<sup>8</sup>Les résultats de l'évaluation du cycle de vie de l'équipe ont été calculés à l'aide de MarineShift360 en octobre 2021. Soutenu par 11th Hour Racing en tant que sponsor fondateur, MarineShift360 est un outil d'évaluation du cycle de vie spécialement conçu pour l'industrie maritime. MarineShift360 est un outil d'évaluation du cycle de vie conforme et certifié aux normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006. Les résultats de l'ACV présentés ici sont calculés à l'aide de MarineShift360, qui est en cours de développement et se trouve actuellement en phase bêta. Aucune déclaration concernant l'exactitude n'est faite et les résultats peuvent changer au fil du temps à mesure que le développement de MarineShift360 se poursuit.

## VENTILATION DES GAZ À EFFET DE SERRE



**Schéma 11.2 Ventilation des GES par groupe et sous-groupe**  
**Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er septembre 2021**

La coque et le pont (342 tonnes de CO<sub>2</sub>e) ainsi que les appendices (129 tonnes de CO<sub>2</sub>e) contribuent à 85 % des émissions de GES et doivent faire l'objet des améliorations les plus importantes. Des études antérieures ont également mis en évidence l'impact important des pièces composites et la nécessité de repenser le processus de construction en utilisant des matériaux plus "verts" ou en réduisant simplement leur poids et les processus (par exemple, en évitant les mannequins et en réutilisant les moules).

En examinant par composants, 32% des émissions de GES proviennent des mannequins et des moules. La réutilisation ou la suppression complète de ces éléments permettra d'obtenir des réductions significatives.

Bien que les foils ne soient pas les pièces composites les plus lourdes de l'inventaire, leur empreinte carbone est notable (23 tCO<sub>2</sub>e contre 20 tCO<sub>2</sub>e pour la coque et le pont). Cela est principalement dû à la quantité élevée de matériaux utilisés et de déchets générés (~300% du poids final du composant).

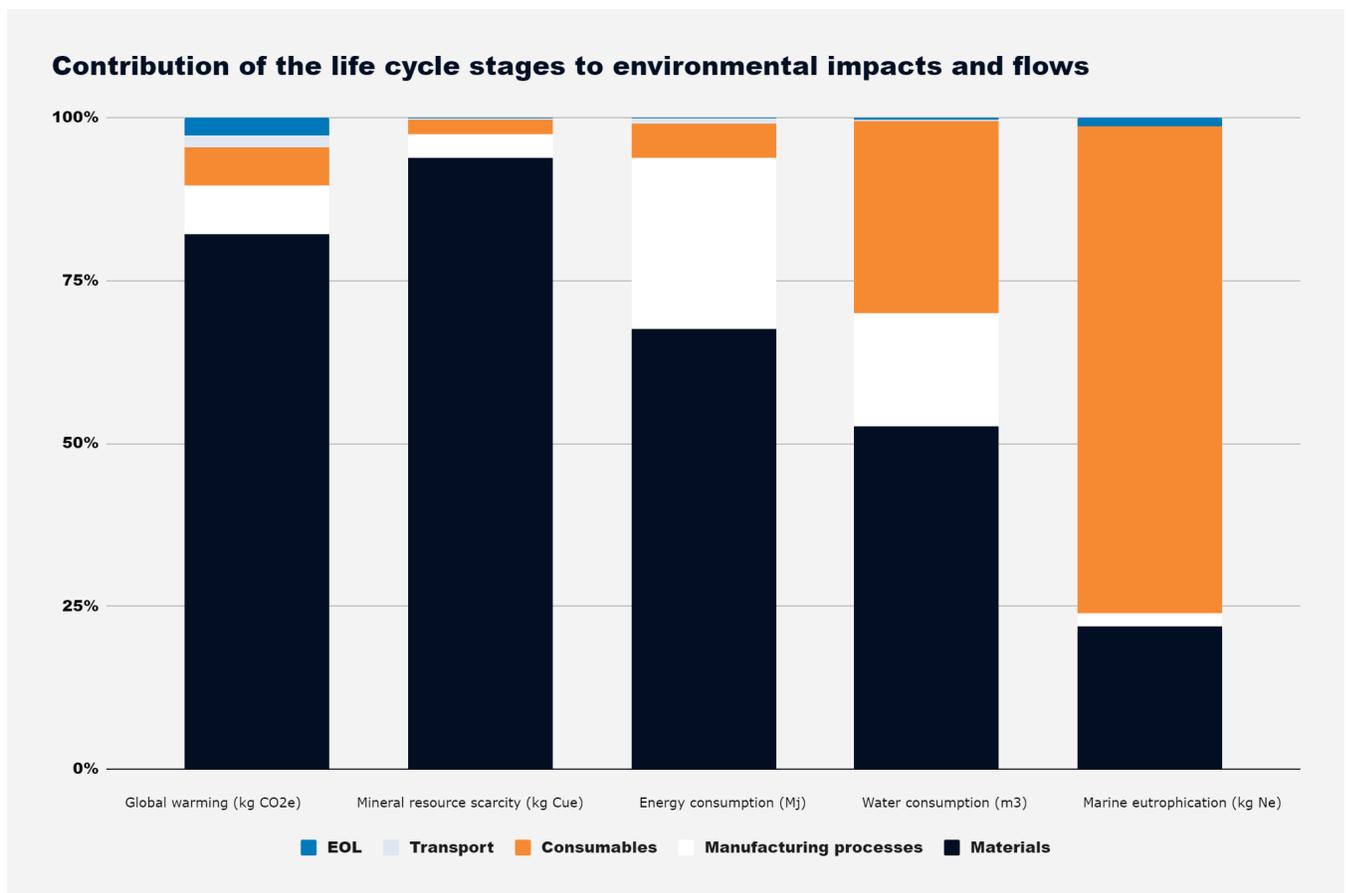
Les émissions restantes sont réparties de manière égale entre les autres sous-groupes de composants de 11.2.

**Tableaux ci-dessous : Répartition des GES par groupe et sous-groupe  
calculés avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er septembre 2021**

<b>GROUP</b>	<b>GHG (kgco2e)</b>	<b>%</b>	<b>Sub-Group</b>	<b>GHG (kgco2e)</b>	<b>%</b>
<b>Plugs and Moulds</b>	174,368.22	31.9	<b>Plugs</b>	45,649.15	8.3
<b>Hull and Deck</b>	164,197.06	30.0	<b>Moulds</b>	128,082.83	23.3
<b>Appendages</b>	129,105.82	23.6	<b>Deck mockup</b>	636.24	0.1
<b>Sails</b>	7,754.50	1.4	<b>Hull and Deck</b>	65,833.12	12.0
<b>Rigging</b>	20,632.58	3.8	<b>Structure</b>	74,868.09	13.6
<b>Deck Hardware</b>	21,042.33	3.8	<b>Misc structure</b>	23,495.85	4.3
<b>Electronics</b>	3,632.01	0.7	<b>Rudders</b>	8,029.82	1.5
<b>Hydraulics</b>	10,309.39	1.9	<b>Keel</b>	22,377.42	4.1
<b>Design</b>	16,000.00	2.9	<b>Foils</b>	98,698.58	18.0
<b>Propulsion</b>	2,486.75	0.5	<b>Sails</b>	7,754.50	1.4
			<b>Boom</b>	3,861.47	0.7
			<b>Mast</b>	10,530.16	1.9
			<b>Outriggers</b>	3,053.88	0.6
			<b>Running rigging</b>	1,770.74	0.3
			<b>Standing rigging</b>	1,416.32	0.3
			<b>Sail trim deck gear</b>	15,858.82	2.9
			<b>Other deck gear</b>	5,183.51	0.9
			<b>Navigation</b>	1,554.03	0.3
			<b>Power</b>	1,556.38	0.3
			<b>Other electronics</b>	521.60	0.1
			<b>Deck hydraulics</b>	1,543.53	0.3
			<b>Keel hydraulics</b>	8,765.86	1.6
			<b>Design</b>	16000	2.9
			<b>Propulsion</b>	2,486.75	0.5

La figure ci-dessous montre le poids des différentes étapes du cycle de vie dans les impacts et les flux environnementaux. Elles sont regroupées comme suit :

- L'extraction des matières premières, la production de produits et de semi-produits tels que les tissus de carbone, les résines, et divers matériaux (bois, acier, plomb, plastiques, etc.).
- Le transport des matières premières vers les différents prestataires.
- Les équipements des sites et des procédés de fabrication qui intègrent l'énergie consommée par les différentes cuissons des composites, l'usinage par commande numérique (CNC), le processus de soudage, etc.
- Les consommables, y compris les consommables sous vide, les supports pré-imprégnés et les EPI (équipements de protection individuelle).
- La fin de vie et la gestion des déchets, y compris tous les déchets de production et les consommables.



**Graphique : Contribution des étapes du cycle de vie aux impacts et aux flux environnementaux**

**Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er septembre 2021**

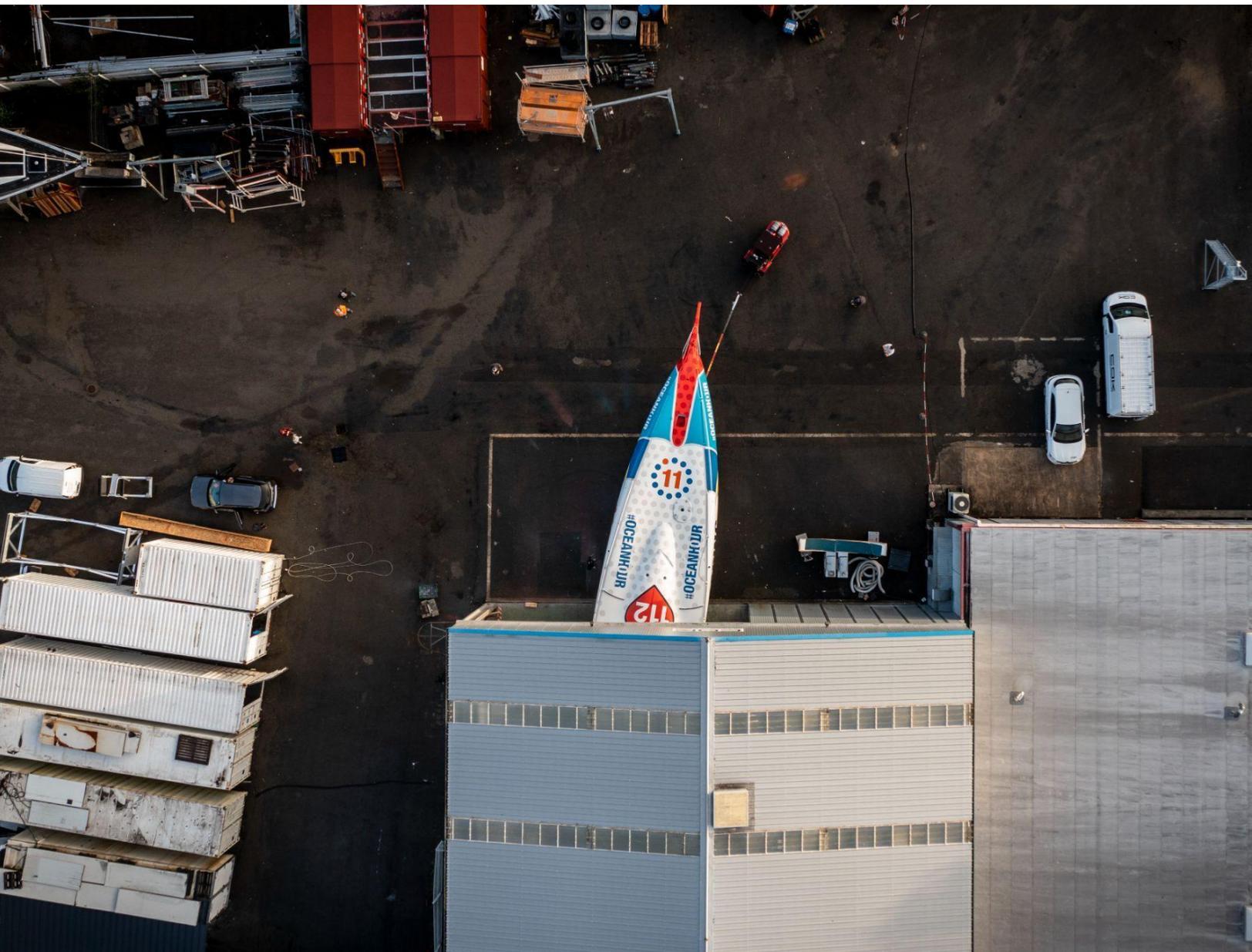
## CONCLUSION

L'analyse du cycle de vie de la construction réelle (ACV 11.2) est comparable à l'étude théorique (ACV 11.1) réalisée l'année précédente avec une source d'inventaire différente : 553 tCO<sub>2e</sub> construction réelle contre 586 tCO<sub>2e</sub> construction théorique.

L'extraction et la production de matières premières comptent pour plus de 50 % de la majorité des indicateurs d'impact. Cela s'explique par la grande quantité de matières produites à partir de ressources non renouvelables associées à leurs processus de fabrication à forte consommation d'énergie.

Le site de fabrication a également une part importante, notamment sur le plan de la consommation d'énergie et d'eau.

Avec 1,2 tonne de déchets plastiques de pré-imprégnés générés pendant la construction, l'impact des consommables sur l'eutrophisation marine et la consommation d'eau est important et principalement lié à l'utilisation de plastiques. Il incite à réfléchir à l'utilisation de procédés composites utilisant moins de plastiques.



# ANALYSE DE SCÉNARIOS - ÉNERGIE

## INTRODUCTION

La transformation des matières premières en produits finis nécessite de l'énergie ; c'est un secteur clé dans lequel il faut chercher des solutions pour réduire les émissions. Passer des énergies non renouvelables aux énergies renouvelables est généralement un choix simple et, en termes de faisabilité, c'est souvent l'un des changements les plus faciles à mettre en œuvre pour une entreprise.

- L'objectif de cette analyse de scénarios est de comprendre l'impact des choix en matière d'électricité renouvelable. Pour ce faire, nous avons étudié la conception et la construction d'un IMOCA 11.2, mis à l'eau et "prêt à naviguer" dans trois scénarios, définis comme suit :
- Scénario de base : 100% d'énergie renouvelable par tous les fabricants de composants.
- Construction réelle : tous les intrants électriques sont sélectionnés selon les données des fournisseurs.
- Réseau Union Européenne : 100 % d'utilisation du réseau européen moyen par tous les fabricants de composants.

## RÉSULTAT

Par rapport à la moyenne de l'UE, l'application d'une énergie 100 % renouvelable à tous les constructeurs et fabricants du bateau mis à l'eau et prêt à naviguer réduit les émissions de gaz à effet de serre de 210 tCO<sub>2</sub>e, soit 32 % de l'empreinte totale de la construction.

**Tableau : Comparaison des impacts GES de différentes sources d'électricité pour construire un IMOCA, calculés avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021**

	Total tCO <sub>2</sub> e	Amélioration par rapport à la moyenne de l'UE tCO <sub>2</sub> e	Amélioration en % par rapport à la moyenne UE de référence
100% réseau UE	651	n/a	n/a
Construction réelle	553	-98	-15%
100% énergie renouvelable	441	-210	-32%

## CONSTRUCTION RÉELLE 11,2

Construit en France, l'IMOCA 11.2 de 11th Hour Racing Team a bénéficié du faible impact énergétique du réseau national français moyen pour la plupart des fournisseurs, et d'un tarif 100% énergies renouvelables pour CDK Technologies. Cela a permis une réduction de 98 tCO<sub>2</sub>e - soit 15 % - par rapport à la moyenne européenne.

## RECOMMANDATIONS

- Faire de l'énergie renouvelable un point clé de discussion dans votre chaîne d'approvisionnement et vos contrats d'achat.
- Veiller à ce que les besoins énergétiques de la production soient couverts par des tarifs d'énergie 100 % renouvelable.

## EMPREINTE NUMÉRIQUE

### INTRODUCTION

Directement tributaires de l'énergie, les services numériques et en ligne ont un impact environnemental croissant<sup>9</sup>. Consciente que la voile performante repose sur une quantité importante de recherche et de développement, l'équipe a réalisé une évaluation de l'empreinte numérique de la conception et de la construction du 11.2.

**Tableau : Empreinte numérique de la conception et de la construction 11.2**

11th Hour Racing Team IMOCA - 11.2	Empreinte numérique	Numérique % du total
Conception & Construction 2019-2021	16.5 tCo2e	3%

### MÉTHODOLOGIE

La méthode de calcul des émissions de gaz à effet de serre des services numériques de l'équipe a consisté à combiner le protocole de déclaration des gaz à effet de serre du Royaume-Uni, des entrées directes (lorsque le nombre de serveurs en fonctionnement, l'énergie requise et l'intensité carbonique des sources d'énergie utilisées sont connus), des recherches et des estimations en ligne (y compris le stockage et le transfert de données en ligne, les courriels de bureau, les conférences téléphoniques et les communications) et les apports de spécialistes.<sup>10</sup>.

### INVENTAIRE

L'inventaire des fournisseurs pour la conception et la construction de 11.2 inclus :

- Un calcul détaillé de l'utilisation numérique par le bureau central de conception et de construction.
- Une estimation pour les autres fournisseurs et prestataires

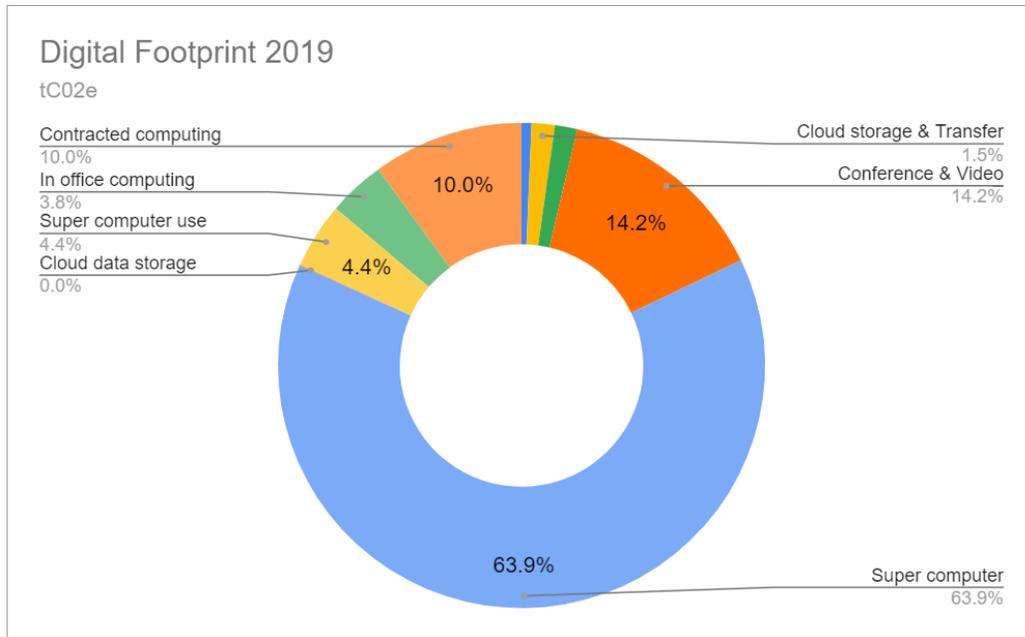
L'inventaire des services utilisés qui a été calculé comprend Google Workspace, le trafic des courriels et des sites Web, le stockage en cloud des actifs numériques, le superordinateur, le

<sup>9</sup> Un [rapport récent](#) de l'université de Bristol indique que le streaming Netflix représente 100 g de CO2 par heure.

<sup>10</sup> Sylvain Baudouin - [The Shift project](#), a fourni des conseils sur le calcul des impacts numériques. Un soutien supplémentaire concernant la définition de l'empreinte numérique de l'équipe 11th Hour Racing Team a été fourni par Craig Simmons, Anthesis.

temps passé sur les ordinateurs de bureau, la recherche sur le Web, la conception des voiles et l'utilisation des serveurs en ligne associés à la conception et à l'analyse des voiliers.

Un exemple de l'inventaire utilisé pour calculer l'empreinte numérique est décrit ci-dessous



**Graphique : Inventaire de l'empreinte numérique de l'équipe 11th Hour Racing Team en 2019.**

L'impact de l'utilisation du numérique dans le processus de conception et de construction de 2019 à 2021 était de 15 tCO2e, soit 3 % de l'empreinte totale.

**Tableau : ventilation totale de l'empreinte numérique de la conception et de la construction**

Empreinte numérique - 11.2	Groupe Conception & Construction	Autres collaborateurs
2019 recherche et développement	7.69	
2020 coordination conception et construction	2.79	0.5
2021 conception et construction	2.79	1.0
TOTAL	15 tCO2e soit 3% de l'empreinte totale de la conception et de la construction	

## LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

Si les services numériques appliqués à la conception et à la construction permettent des gains d'efficacité en termes de réduction du temps de construction, d'essais et d'erreurs, en intégrant la circularité dans les produits et en limitant les déplacements entre les organisations, la capacité croissante et les besoins énergétiques des outils numériques signifient qu'ils sont eux-mêmes responsables d'un impact environnemental croissant.

Les meilleures pratiques mises en place par l'équipe sont les suivantes :

1. Utilisation de la plateforme d'espace de travail Google qui fournit un service à émissions nettes de carbone nul grâce à l'achat d'énergie renouvelable pour compenser les émissions du centre de données de Google. Consulter [le rapport environnemental de Google](#) (p. 13, 24-34) pour connaître leur bilan d'émissions.
2. Travailler avec Kinsta pour l'hébergement du site web, qui utilise la plateforme Google Cloud.
3. Utilisation d'Image Relay, une B-Corp certifiée, pour sa gestion des actifs numériques. Image Relay utilise Amazon Web Services pour conserver les actifs numériques qui ont dépassé 50 % d'utilisation d'énergie renouvelable pour 2018 (dernières données disponibles) (n.d., AWS).
4. Utilisation de deux supercalculateurs de l'unité Wolfson de l'Université de Southampton qui ont été classés dans le Top 500 des machines les plus vertes du monde.(Greenlist, 2013, 2017) pour l'analyse aéro de l'équipe.

Autres recommandations :

- Utiliser des services de conception et d'hébergement de sites Web écologiques.
- S'approvisionner en services numériques alimentés par des tarifs d'énergie renouvelable, ce qui permet de réduire considérablement l'impact (dans certains cas, un facteur de dix ou plus).
- Utiliser la compression des données lorsque cela est possible, ce qui réduit la quantité de données en ligne et stockées.
- Réduire au minimum le contenu et la quantité des courriels, et nettoyer les boîtes de réception.
- Éteindre les caméras lors des vidéoconférences, ce qui peut [réduire les impacts de 96 %](#).
- Réduire les réunions en personne. Selon [une étude](#), une téléconférence ne produirait que 7 % de l'impact d'une réunion en personne. La même étude indique que c'est le cas même pour les déplacements en voiture sur des distances inférieures à 20 km.
- Sélectionnez soigneusement le matériel de remplacement, en vous basant sur des normes d'approvisionnement durable.

## CONCLUSION

Avec 15 tCO<sub>2</sub>e, l'empreinte numérique représente un pourcentage relativement faible (3 %) de l'impact total de la construction, ce qui reflète l'impact du secteur numérique dans le monde, [estimé à 3,5 %](#) des émissions mondiales de GES, soit l'équivalent de l'ensemble de l'industrie aéronautique. L'impact mondial de l'utilisation du numérique devrait augmenter de [14 % d'ici 2040](#), ce qui souligne l'importance de comprendre et prendre en compte les impacts de ce secteur.

## AU DELÀ DU STATU QUO

Lors de l'évaluation des processus et des matériaux de construction de bateaux existants, le groupe de conception et de construction s'est d'abord concentré sur des solutions simples, en recherchant des réductions absolues des besoins actuels en ressources, des gains d'efficacité au sein des pratiques existantes, et enfin des alternatives incluant de nouveaux matériaux.

La fibre de carbone est un matériau omniprésent dans l'industrie maritime. Elle présente le rapport poids/résistance le plus élevé et offre à la fois des performances, et souvent une fiabilité et une longévité, impossibles à obtenir avec d'autres matériaux. Cependant, l'impact environnemental associé à la production de la fibre de carbone peut être +100 fois supérieur à celui des fibres naturelles.

La production de la fibre de carbone nécessite beaucoup d'énergie et de chaleur, ce qui se traduit par 4 000 kg de CO<sub>2</sub>e pour la production de 100 kg de fibre de carbone standard. Pour le carbone à haut module, les émissions de gaz à effet de serre associées augmentent rapidement avec l'augmentation du module de carbone<sup>11</sup>, pour atteindre plus de 6 000 kg de CO<sub>2</sub>e par 100 kg de matériau, en raison de la durée du processus (96 heures et plus), des températures plus élevées (1 500 °C et plus) et, pour certaines fibres à module élevé, du gaz Argon pour remplacer l'azote<sup>12</sup>.

La disponibilité de matériaux spécialisés à haut module a permis d'améliorer constamment les performances, tout en rendant la conception et la construction des bateaux de plus en plus complexes.

## LA COMPLEXITÉ DES NOUVELLES CONSTRUCTIONS PAR RAPPORT AUX ANCIENNES



*"Construire un nouvel IMOCA est devenu un processus nettement plus complexe. La construction de la coque nécessite 40% d'heures de travail supplémentaires comparé à il y a seulement quelques années, tandis que le temps que nous passons sur le pont a augmenté de 60%. Cette augmentation du temps de construction est due à des conceptions et des structures plus complexes, mais aussi à l'utilisation de matériaux plus spécialisés." - Yann Dollo, CDK technologies*

© CDK Technologies

<sup>11</sup> Les matériaux composites sont définis à l'aide de mesures visant à quantifier la quantité ou le **module** de diverses propriétés mécaniques telles que la résistance à la traction, la ténacité, le cisaillement et l'élasticité.

<sup>12</sup> Lifecycle impact assessment of different manufacturing technologies for automotive CFRP components, Journal of cleaner production (2020)

Lors de la construction d'un bateau neuf, l'équipe recommande de poser trois principales questions, auxquelles le maître d'ouvrage, l'architecte et le constructeur doivent répondre :

- De quelle quantité de fibre de carbone avons-nous réellement besoin ?
- Quels types et combien de matériaux différents sont nécessaires ?
- Comment limiter les types de matériaux pour réduire les répercussions sur l'environnement sans nuire aux performances ?

En raison du délai de construction du nouvel IMOCA de l'équipe, la fibre de carbone était le matériau par défaut. Cependant, l'une des façons dont la Classe IMOCA aborde l'impact de l'utilisation de la fibre de carbone, comprenant le coût, les déchets et le temps de construction, est de fixer un nouveau poids minimum du tissu à 200g.m<sup>2</sup>.

Étant donné que les constructions actuelles utilisent fréquemment plusieurs poids de tissu allant de 150g.m<sup>2</sup> et plus, cette mesure aura un impact significatif en réduisant non seulement les types de tissu utilisés, en simplifiant les commandes d'achat, l'utilisation et la réduction des chutes, mais aussi en réduisant directement et dans de nombreux cas de moitié les heures de travail réelles nécessaires pour assembler un composant en carbone, ainsi que les consommables/déchets associés. En outre, la mise en place d'un ensemble commun de matériaux permet à l'industrie de s'aligner sur la valorisation des déchets et le recyclage en fin de vie. Plus d'informations à ce sujet dans le [chapitre sur les déchets](#).

La simplification et la standardisation des matériaux est une politique efficace pour réaliser des réductions dans le cadre des activités habituelles.

## DISCUSSION

Une discussion plus approfondie sur l'amélioration du statu quo est présentée dans les scénarios suivants :

- [Analyse de scénario - Métal](#)
- [Analyse de scénario - 10m<sup>2</sup> \(prepreg vs infusion\)](#)
- [Analyse de scénario - Design vs Impact \(poids de tissu minimum\)](#)

## RECOMMANDATIONS



*"L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre associée à la production de fibres de carbone à module plus élevé peut représenter un facteur de deux ou plus. Définir des limites pour l'utilisation et le type de fibres de carbone dans les règles de Classe peut conduire à des réductions significatives des émissions de gaz à effet de serre tout au long du processus de construction." - **Luc Talbourdet, Avel Robotics***

Derrière la discussion sur l'amélioration des modes de fonctionnement habituels se cache l'importance de simplifier les choix de matériaux ainsi que les processus et de donner la priorité aux chaînes d'approvisionnement locales.

# MATÉRIAUX ALTERNATIFS

Ayant identifié que les matériaux et les consommables utilisés dans la fabrication du bateau représentent une part considérable de l'empreinte, le Plan de Conception et de Construction Durable de l'équipe (élaboré en 2019) a défini les matériaux alternatifs à faible impact comme un axe de travail clé. Le plan a défini les étapes suivantes :

<b>Matériaux alternatifs</b>	1. Commander un rapport sur les matériaux durables et alternatifs, et mener des recherches ciblées pour comprendre leurs propriétés, leurs applications et leurs empreintes. Identifier un projet à aborder en utilisant une approche biomimétique de résolution de problèmes.
	2. Définir une liste de composants du bateau susceptibles d'être fabriqués à partir de ces matériaux.
	3. Relier la liste des composants candidats avec les matériaux.
	4. Commander des pièces et/ou construire en interne.
	5. Quantifier l'impact des choix alternatifs.
	6. Créer et partager des études de cas présentant les enseignements tirés



*"L'un de mes rôles clés consiste à explorer comment utiliser et exploiter des matériaux alternatifs. Nous nous posons constamment la question suivante : "Comment pouvons-nous utiliser différents composites pour construire des pièces, et quelles en sont les applications ? Sont-ils fiables ? Vont-ils durer ? Je choisis des composants sur le bateau qui sont de bons candidats pour une alternative durable, et à partir de là nous explorons si c'est possible. Parfois, mes idées n'aboutissent pas, mais souvent, nous sommes en mesure de prouver que des alternatives plus durables peuvent réellement concurrencer les méthodes de construction les plus courantes. De dernières pièces sont sur le point d'être utilisées sur notre nouvel IMOCA. C'est une première pour la flotte, je pense, et probablement pour toutes les flottes de course. Parallèlement à ça, nous organisons régulièrement des ateliers pour continuer à faire germer les idées. La route est longue mais nous avançons."*

**Wade Morgan, responsable de la construction de l'équipe 11th Hour Racing**

## RAPPORT SUR LES MATÉRIAUX ALTERNATIFS

En 2019, le Team a chargé [Kairos](#) de préparer un rapport sur l'état actuel des pratiques en matière de matériaux alternatifs durables et de processus de construction. Le rapport a comparé les propriétés environnementales et structurelles d'un certain nombre de matériaux composites biosourcés, ce qui a permis à l'équipe d'entreprendre des recherches supplémentaires sous la forme de tests sur éprouvettes. L'intention était de sélectionner les composants du bateau pouvant être fabriqués à partir de fibres ayant une empreinte carbone intrinsèque plus faible.

### COMPARAISON MÉCANIQUE

L'évolution des propriétés mécaniques des matériaux de construction de bateaux a entraîné une augmentation directe de leur impact sur l'environnement. Cela est dû à la fois à la matière première et au processus de production. Le rapport sur les matériaux alternatifs a étudié les propriétés mécaniques d'un certain nombre de fibres, de résines et de matériaux de base, ainsi que leur impact environnemental respectif.

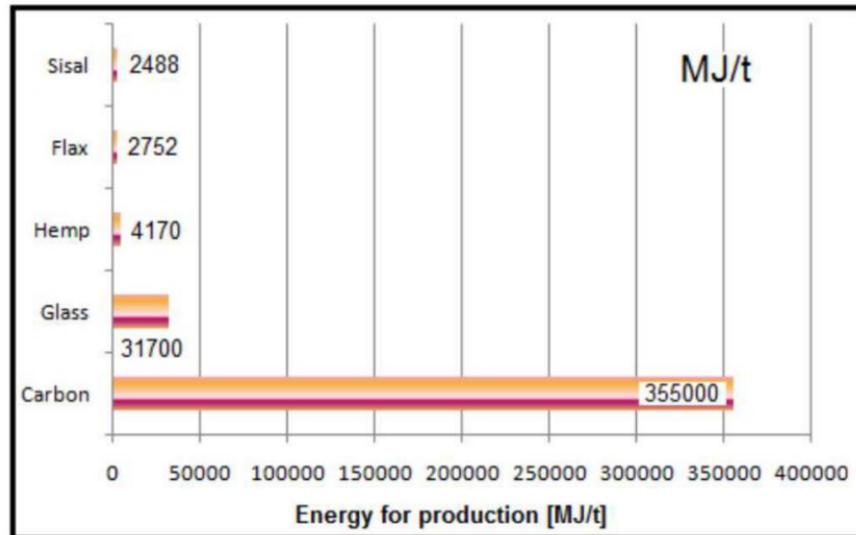
Nature	Type	E <sub>1</sub> (Gpa)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	σ <sub>max</sub> tensile (Mpa)
Aramid	Kevlar 49	130	1.45	3500
Carbon HR	HR	230	1.7	4500
Basalt	Filava	100	2.6	2000
Glass E	E	78.7	2.6	2366
Glass R	R	86	2.5	3200
Flax		48	1.38	800
Hemp		45	1.47	700
Bomboo		30-50	0.9	500 - 740
Jute		42	1.23	610

Nature	Type	E (Gpa)	ν <sub>12</sub> (Gpa)	G <sub>12</sub> (Gpa)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	σ <sub>max t</sub> (Mpa)	σ <sub>max c</sub> (Mpa)	τ max (Mpa)	Approx. cost (€/Kg)
Epoxy	SR 1700	3.5	0.4	1.6	1.2	90	90	75	12-18
Biobased Epoxy	SR810	3.2	0.4	n/a	1.2	70	70	47	12-18
Polyester ortho	Orthophthalic	4	0.4	1.4	1.1	80	80	46	2
Biobased Polyester		3.1	0.37	1.13	1.2	62	62	35	4.5
Polyamide	PA6.6	3.3	n/a	n/a	1.15	80	n/a	n/a	n/a
Polyamide	PA11	1.55	n/a	n/a	1.03	44	n/a	n/a	n/a
PLA	Polylactic acide	3.3	0.3	1.23	1.24	60	60	45	3.5
Elium	Methacrylate	3.3	0.3	1.27	1.19	76	130	45	14.5
Polypropylene		2	0.3	0.8	0.9	20	20	15	1

**Tableau : Propriétés mécaniques des fibres, résines et matériaux de base renouvelables et non renouvelables.**  
**Source : Rapport Kairos sur les matériaux alternatifs**

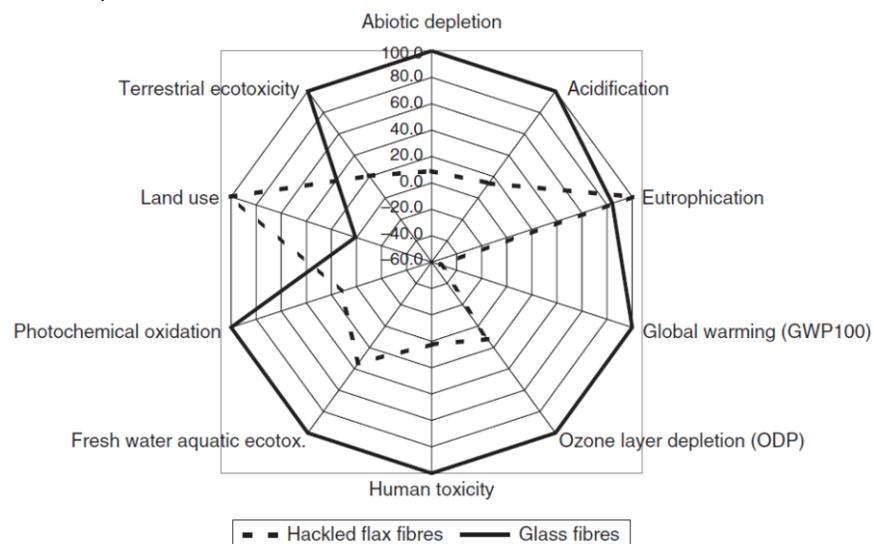
## IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Le graphique ci-dessous montre l'énergie nécessaire à la production de diverses fibres, en mégaJoules par tonne métrique de fibre... La production de la fibre de carbone nécessite 10 fois plus d'énergie que celle du verre ; le processus de fabrication de la fibre de verre nécessite 10 fois plus d'énergie que celui des fibres naturelles.



**Source : Rapport Kairos sur les matériaux alternatifs [SachsenLeinen ; Daimler 1999 ; BAFA ; NOVA ; AVB ; REO].**

Si l'on compare l'impact environnemental et sur le réchauffement climatique des fibres composites, il est important de noter que le graphique ci-dessous est basé sur le poids et non sur la résistance comparable.

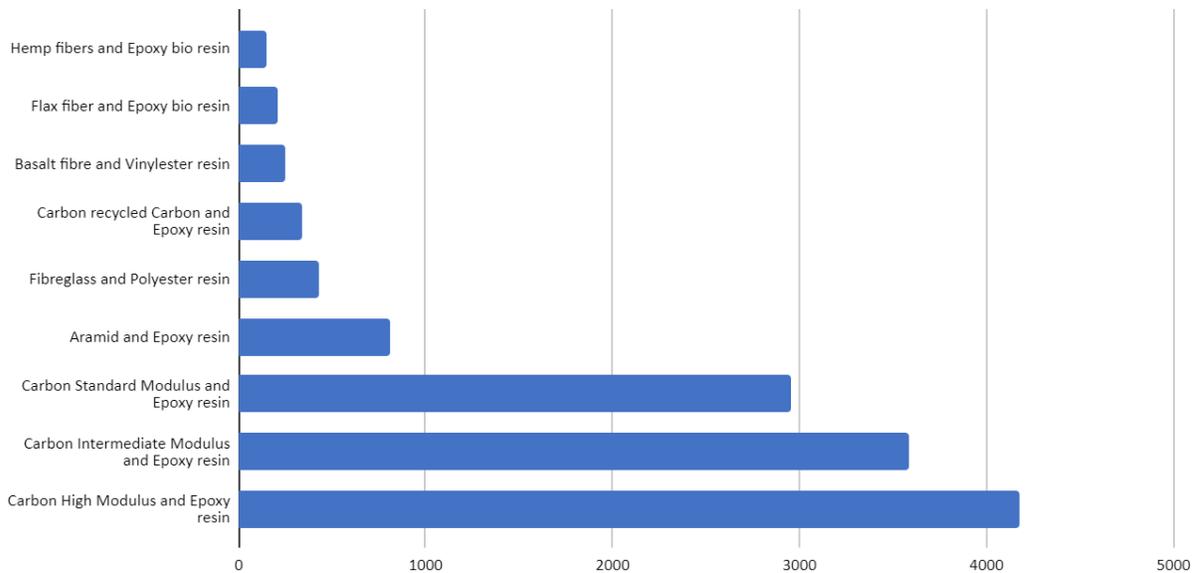


**Graphique : Impacts de la production de fibres de lin décortiquées comparés aux fibres de verre. Source : Rapport Kairos sur les matériaux alternatifs.**

## COMPARATIFS DES COMPOSITES

Évaluer les impacts environnementaux des matériaux et processus composites.

### FIBRES



**Graphique : Comparatif des impacts en matière de gaz à effet de serre de différentes fibres**

**Source : Michel Marie - Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta le 14 octobre 2021**

Alors que la nécessité de chercher au-delà de la fibre de carbone est évidente, le principal défi pour l'équipe en ce qui concerne le choix de la fibre a été de trouver des zones non structurales qui pourraient recevoir des alternatives, telles que le carbone recyclé et le lin. L'approche et les applications sont décrites dans les chapitres suivants.

## RÉSINES

Des alternatives biosourcées et sûres pour les résines améliorent la protection de la santé humaine et de l'environnement. Parmi les résines biosourcées que l'équipe a testées et utilisées dans divers composants, figurent le Sicomin Greenpoxy (biosourcé à 35 %) et l'[AMPRO bio](#) de Gurit (biosourcé à 40-60 %).

Les résines biosourcées ont une empreinte carbone inférieure d'environ 50 %, utilisent deux fois moins de ressources rares et consomment 50 % moins d'énergie et d'eau qu'une résine non biosourcée ordinaire. L'un des principaux atouts de la résine biosourcée pour les personnes travaillant les composites est sa faible toxicité pour la santé humaine.

L'équipe a utilisé des résines biosourcées pour les bers, la cale moteur, le carénage du pont et les panneaux de pont.

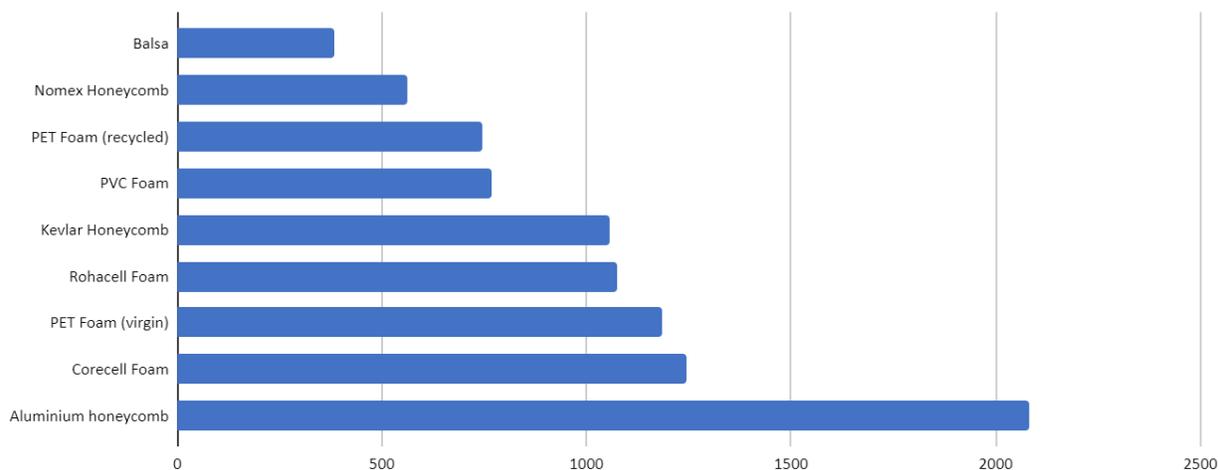
Pour plus de précisions sur les pistes d'amélioration liées aux résines bio, voir l'analyse de scénario :

- [Moules](#)
- [10m2 - Bio-résine](#)

## ÂME

Pour certains composants, l'équipe a utilisé une âme en PET recyclé, dont le potentiel de réchauffement global est inférieur de 56 % à celui de l'âme en PET vierge. Les chantiers et les ingénieurs ont trouvé ce matériau agréable à travailler et l'ont utilisé pour les bers, les bâti-moteurs et les carénages de panneaux de pont.

La casquette de cockpit a été réalisée à partir d'une âme de balsa, usinée avec des trous d'allègement afin d'optimiser poids et besoins structurels. On peut voir ci-dessous les avantages des matériaux naturels comme le balsa, ou des produits comme le PET recyclé.



**Graphique : Comparatif des impacts relatifs aux GES de différents matériaux d'âme**  
**Source : Michel Marie - Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta le 14 octobre 2021**

# MATÉRIAUX RECYCLÉS

## CARBONE RECYCLÉ - ENTRANT

Changer le cours des choses peut être un processus complexe et de longue haleine, néanmoins, des avancées importantes peuvent être réalisées dans certains domaines. La fibre de carbone recyclée (FCr) ne produit que 5 à 20 % des émissions de gaz à effet de serre de la fibre de carbone vierge et constitue dans de nombreux cas une alternative pertinente. Les pièces non structurelles et les moules en sont des exemples frappants.

Grâce à de meilleurs processus de recyclage, la valeur de la fibre de carbone augmente. Cela permettra une utilisation plus large de la FCr dans les composants semi-structurels et, dans certains cas, structurels. Exemple : Voir HiPerDif dans le tableau ci-dessous.

## RECYCLAGE DU CARBONE - SORTANT

La fibre de carbone représente une proportion importante (30 %) des déchets générés lors d'une construction type. Dès le début, l'équipe a effectué des recherches pour en savoir plus sur les différentes options de recyclage des composites disponibles en Europe. Le tableau suivant décrit certains de ces transformateurs, ainsi que les matériaux et les méthodes qu'ils utilisent.

Transformateurs	Localisation	Matériaux et Méthodes
<a href="#">Apply Carbon (Procotex)</a>	France	La fibre de carbone sèche peut être broyée ou coupée et surensimée pour être utilisée comme matériau de renfort dans les thermoplastiques et les bétons.  En 2021, Procotex a acquis la technologie de pyrolyse d'ELG, et va créer une <a href="#">nouvelle installation</a> à Auray, en Bretagne.
<a href="#">Alpha Recyclage</a>	France	Les déchets composites sont traités par un procédé de vapo-thermolyse. Des produits semi-finis sont ensuite fabriqués en petites séries à partir de fibres recyclées (granulés, mats, fils, tresses, co-mêlés, tissés, etc.).
<a href="#">V-Carbon</a>	Suisse	Recyclage des composants en fin de vie et des déchets de fibre de carbone.
<a href="#">ELG Carbon Fibre</a>	Royaume-Unis / France	Par pyrolyse (combustion à haute température). La fibre est transformée en un matériau haché (Carbiso) qui peut être utilisé comme renfort de haute qualité.
<a href="#">Fairmat</a>	France	Non-pyrolyse. Les fibres sont alignées par technologie robotique.

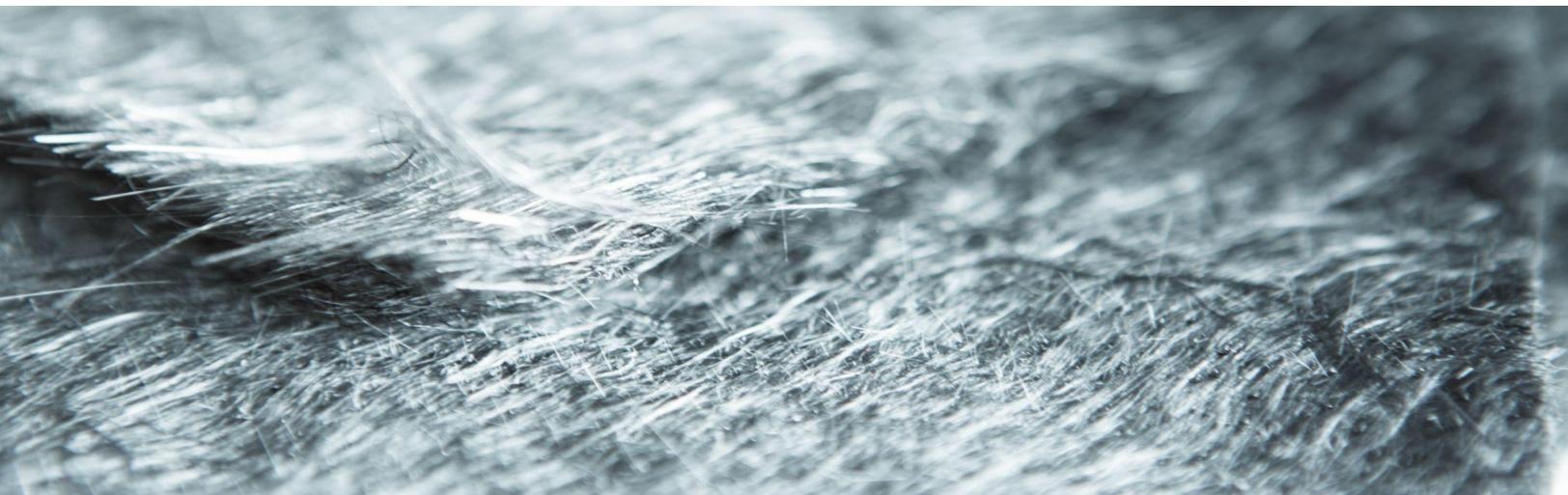
<a href="#">Gen2Carbon</a>	Royaume-Unis	Suite à un rachat d'ELG Carbon Fibre, Gen2Carbon a été créé pour fournir la prochaine génération de technologies de recyclage de la fibre de carbone, essentielle pour soutenir la croissance de l'industrie de la fibre de carbone.
Light Black Design	Royaume-Unis	Une initiative de recyclage des voiles à partir de fibre carbone.
<a href="#">RYMYC</a>	Italie	Axé sur l'élimination des résines époxy, des liants, de l'encollage et du revêtement des déchets de composites en fibre de carbone. Installation d'une usine textile d'une capacité de 500 t/an permettant de transformer la fibre de carbone recyclée en mats non tissés, destinés à être réutilisés sur le marché des composites en fibre de carbone. Particulièrement utile pour toutes les pièces/moules déjà fabriqués chez Persico.
<a href="#">Prodrive</a>	Royaume-Unis	Prodrive Composites a mis au point un procédé de fabrication de composants composites recyclables qui peuvent répondre aux exigences futures de fin de vie sans compromettre les performances des pièces d'origine. Ce procédé s'appelle P2T (Primary to Tertiary).

À la suite de la construction, l'équipe a environ cinq tonnes de déchets de composite de carbone à traiter, y compris les moules et les pièces cassées. L'équipe travaille en partenariat avec des transformateurs pour assurer le recyclage de ces composants en fin de vie. (Voir le [chapitre : Circularité](#))

## **FIBRE DE CARBONE ELG**

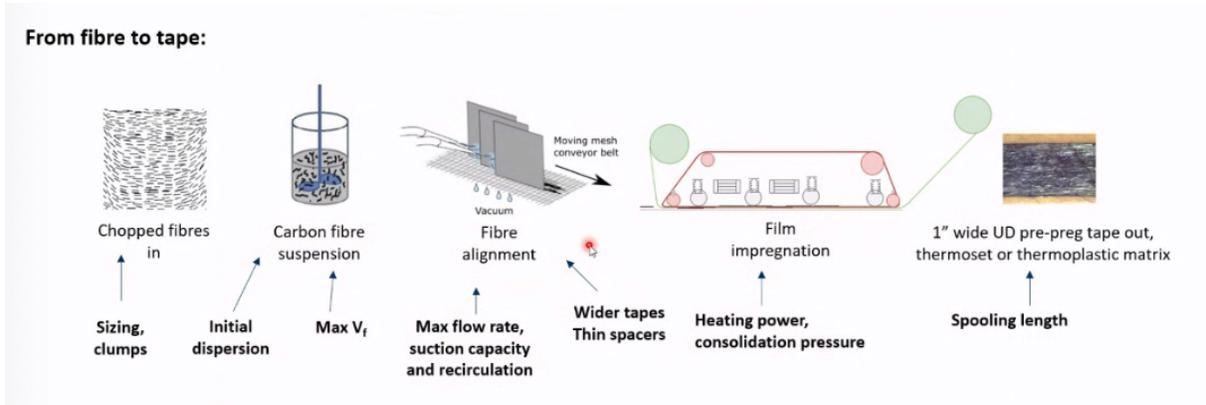
L'équipe a choisi d'utiliser le mat produits à partir de fibre de carbone recyclé de chez Carbisio pour quelques applications. Le matériau ELG est fabriqué par un procédé de pyrolyse, qui consiste à récupérer les fibres de composites usagés dans le secteur de l'automobile, de la marine et de l'aérospatiale, pour obtenir un produit recyclé à base de fibres hachées. Sachant que le produit recyclé est gourmand en résine, l'équipe l'a associé à des PowerRibs entre les couches pour augmenter la résistance et permettre à la résine de circuler. Grâce à cela, l'équipe a pu obtenir un rapport résine/fibre de 50:50.

**Source: BComp**



## HiPerDif

La technologie HiPerDiF (high performance discontinuous fiber), inventée à l'université de Bristol, produit des composites à fibres discontinues hautement alignées dans le but de relever les défis du recyclage dans l'industrie des composites<sup>13</sup>. La technologie HiPerDif traite la fibre recyclée hachée (provenant de structures telles que ELG), en utilisant une technologie à hydrojet pour aligner les fibres et produire un ruban préimprégné aux propriétés comparables à celles de la fibre vierge.



**Graphique : Le processus HiPerDif.**  
**Source : Lourens Blok, HiPerDif, RECOMP novembre 2020**

HiPerDif assure le traitement de certaines pièces endommagées des foils de l'équipe. Elles seront restituées sous forme de rouleaux de carbone, qui seront utilisés à bord dans de futurs composants.



<sup>13</sup> <http://www.bristol.ac.uk/composites/research/hiperdif/>

## RECOMMANDATIONS

### FCr ENTRANTE

- Définir l'utilisation des FCr comme une alternative obligatoire au carbone vierge dans les règles de la classe IMOCA générera de l'innovation et de la demande.

### FCr SORTANTE

L'un des principaux obstacles au recyclage des matériaux (en particulier la fibre de carbone) est de connaître la composition exacte du matériau. Sans ces données, les recycleurs doivent généralement déclasser (dé-cycler) le matériau de sortie.

- Le fait de conserver des "passeports de matériaux" en utilisant une technologie telle que le jumeau numérique<sup>14</sup> est une étape importante pour conserver la valeur financière et la performance des produits recyclés. La meilleure façon de le faire serait de mettre en place une politique de classe pour les composants clés de grande valeur (tels que les foils et les mâts).

Outre la valorisation de la FCr, il s'agit de centraliser/coordonner le flux de matériaux.

- Une organisation ou un organe central permettrait de mettre en relation les fabricants et les équipes, produisant ainsi une quantité de matériaux à une échelle pertinente pour les recycleurs régionaux/nationaux.

### Règles de Classe

- Définir des normes maximales de déchets/minimales de recyclage.

---

<sup>14</sup> Un jumeau numérique (digital twin) est un modèle virtuel conçu pour refléter fidèlement un objet physique.

## FIBRE DE LIN (FLAX)

La fibre de lin (Flax) possède un certain nombre de propriétés qui en font un bon choix pour tester et construire des composants.

### PROPRIÉTÉS DU MATÉRIAU

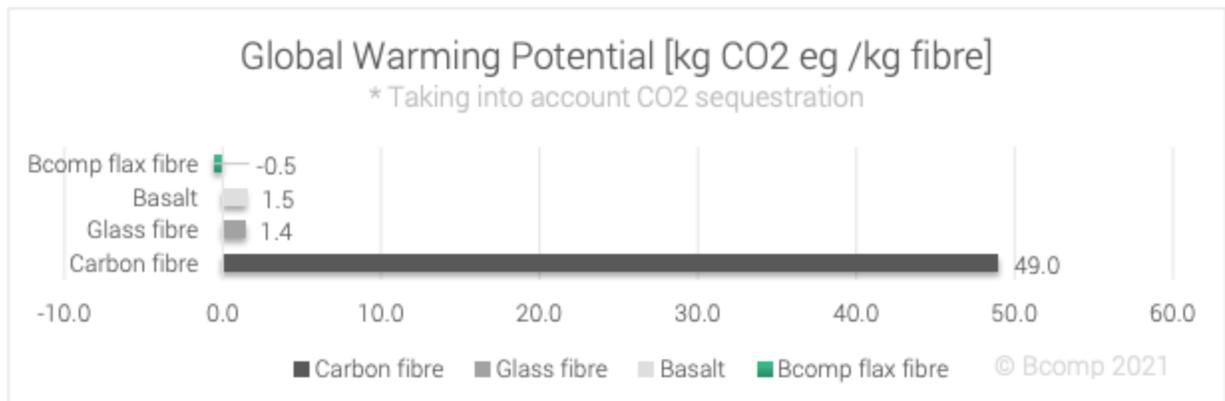
- Structure tubulaire de faible densité et de grande rigidité.
- Forte résistance à la rupture en cas de tension ou de compression.
- Viscoélastique = forte capacité à amortir les vibrations.
- Très bonnes propriétés mécaniques parmi les fibres naturelles.
- Affinité intrinsèque avec l'époxy pour une bonne adhésion fibre-matrice.



Source : BCOMP

### AVANTAGES ÉCOLOGIQUES

- Le lin est une plante territoriale qui fait office de culture de rotation et qui pousse naturellement en Europe. L'Europe produit 85 % de la production mondiale de lin, dont une grande partie en Normandie, en France.
- L'équipe a utilisé des fibres de lin ampliTex™ qui sont neutres en CO2 tout au long de leur cycle de vie, et les fibres elles-mêmes sont biologiquement décomposables.



Source : BComp

## PowerRibs

*"Le courant de pensée de l'économie circulaire " biomimétique " est un courant important pour l'équipe. Dans la nature, il n'y a ni déchet qu'elle ne puisse recycler, ni pollution qu'elle ne sache réguler." - Guillaume Masse, Station Marine de Concarneau*

En 2019, l'équipe a mobilisé ses membres internes sur la manière d'appliquer le biomimétisme au stade de la conception, par le biais d'une session #OceanHour - une opportunité d'apprentissage interne à laquelle l'équipe a assisté. En collaboration avec un groupe d'étudiants en Master de l'[École Nationale Supérieure de Création Industrielle](#), et la [Station Marine de Concarneau](#), le groupe a exploré des solutions innovantes bio-inspirées qui ont permis de réfléchir à toutes les perspectives possibles pour un futur voilier de course robuste, rapide, durable et bio-inspiré.

Sur cette base, l'équipe a demandé l'essai d'un matériau biologique inspiré des nervures des feuilles, appelé PowerRibs, afin de mieux comprendre les propriétés mécaniques, les applications et les points de comparaison avec les matériaux habituels de construction de bateaux. Ces tests ont examiné les propriétés du point de vue de l'environnement et de l'évaluation du cycle de vie, ainsi que les propriétés de résistance, de rigidité, de déformation et de fracture.

Parmi les principaux résultats, il a été découvert que l'utilisation de PowerRibs augmente la résistance à la flexion et la rigidité. L'équipe a fait correspondre ces propriétés à des applications telles que les carénages de panneaux de pont et la cale moteur. Plus de détails sur ces composants spécifiques sont fournis dans le chapitre suivant - [Composants de fabrication](#).



## GRÉEMENT

Le gréement dormant et courant ne représente que 0,6 % (3 tonnes de CO<sub>2</sub>e) du total des émissions de gaz à effet de serre pour la conception et la construction du bateau. Constitué principalement de carbone ou de PBO<sup>15</sup> avec des accessoires en titane, le gréement dormant représente 0,3 % (1,4 tCO<sub>2</sub>e) des émissions de gaz à effet de serre, les 0,3 % restants (1,8 tCO<sub>2</sub>e) étant constitués de bouts et de cordages (gréement courant).<sup>16</sup>

Le gréement de course de l'équipe, issu de la gamme Blue Ocean de Marlow Ropes, comprend :

- Le Dyneema biosourcé<sup>17</sup> pour tous les bouts de performance.
- Le Dyneema recyclé de Marlow/DSM.

Rigging Works a fourni les services internes à l'équipe, y compris une attention particulière aux meilleures pratiques durables :

- Le gréement est commandé et tissé selon les besoins à Marlow, ce qui garantit un minimum de chutes et de déchets.
- Transport et emballage optimisés.
- Stockage des cordages usagés et des chutes pour le recyclage.

**Jon Mitchell, directeur général de Marlow Ropes :** "Nous sommes fiers d'être l'un des premiers fabricants à intégrer du Dyneema® à base de matériaux recyclés dans nos produits et à démontrer la viabilité de ce matériau. Nos produits sont essayés et testés par des équipes professionnelles de course au large, notamment 11th Hour Racing Team, un de nos prestigieux partenaires chez Marlow, avec qui nous partageons une approche progressive de la recherche de solutions durables : fini le business as usual."

## Recommandations

- Le calcul pour le gréement courant a été effectué en utilisant des coefficients de type "business-as-usual" pour le Dyneema. Des données plus récentes sont nécessaires pour inclure les chiffres relatifs aux matériaux biosourcés et recyclés dans le MarineShift360 afin de comprendre comment ces choix de matériaux permettent de réduire l'impact.
- Il convient de poursuivre les travaux visant à mettre en place une logistique à cycle inversé afin de boucler complètement la chaîne de ces matériaux.



© Marlow Ropes

<sup>15</sup> Polybenzoxazole

<sup>16</sup> Calculé à l'aide du logiciel MarineShift360 beta, 1er octobre 2021

<sup>17</sup> Certifié par l'ISCC, le DSM bio-base, et le Dyneema recyclé est produit avec de l'éthylène biosourcé et l'approche du bilan massique. Comme indiqué par Marlow, le Dyneema bio-sourcé émet 29 tCO<sub>2</sub> de moins par tonne de HMPE produit.

## LES OPTIONS NON EXPLORÉES, OU NON RÉALISABLES DANS LE DÉLAI IMPARTI

Ce rapport se concentre principalement sur les expérimentations effectives, les processus et les matériaux utilisés par l'équipe de conception et de construction. L'industrie des composites offre de nombreuses solutions existantes et futures qui aideront l'industrie maritime à évoluer en faveur d'un avenir durable.

Les sujets à potentiel mais que l'équipe n'a pas explorés ou mis en œuvre sont les suivants :

- Tester et se familiariser avec la bio-résine pour permettre une utilisation systématique dans la construction.
- Innovation de consommables d'aspiration pour réduire l'usage unique du plastique.
- Light black design - recyclage des voiles.
- Moules femelles seulement (sans mannequin).
- FCr et matériaux alternatifs dans les moules.
- Résines thermodurcissables et recyclables ou thermoplastiques.
- Bio-plastiques et alternatives aux consommables plastiques à usage unique.
- Matériaux AltMat tels que : bambou, basalte, alternative au Nomex pour l'âme en nid d'abeille.
- Systèmes automatisés basés sur la robotique.

## PASSER À L'ACTION

*"Le défi n'est pas tant de fournir des matériaux recyclés, l'obstacle actuel est le manque de demande de la part de l'industrie maritime. De meilleures politiques et règles doivent être mises en place pour générer la demande à plus grande échelle." - Yannick Le Morvan, Gurit*

Les recherches de l'équipe ont permis de sélectionner et de trouver des matériaux alternatifs qui répondent aux exigences techniques des différents composants du bateau. Les premières actions clés ont été les suivantes :

- Fabrication de panneaux à partir de fibre de lin, de résine biologique et d'âme éco-friendly.
- Achat de 50 mètres linéaires de mats en fibre de carbone recyclée, destinés à être utilisés dans d'autres composants.
- Charger l'un des ingénieurs internes de l'équipe de travailler avec les matériaux alternatifs et de construire des composants pour 11.2.
- Collaborer avec la Classe IMOCA sur la définition des matériaux alternatifs dans le cadre de la règle de la Classe.
- Faire avancer les discussions sur la récupération et la réutilisation à grande échelle du carbone recyclé dans l'industrie maritime.

## RECOMMANDATIONS

Préparer un programme d'essais de matériaux et de processus alternatifs le plus tôt possible pour valider, se familiariser et s'assurer que les alternatives sont pertinentes au regard des délais de construction.

# **RACONTER L'HISTOIRE**

## **LA SÉRIE "MAKING OF"**

Pour contribuer à partager l'histoire de la conception et de la construction du nouvel IMOCA 60 avec un public plus large, l'équipe a produit en interne une série de [vidéos en trois parties](#).

### **"THE DESIGN STORY"**

Deux ans de travail et des dizaines de milliers d'heures consacrées au processus de conception et de construction ont donné naissance à une nouvelle génération d'IMOCA 60.

Dans l'épisode 1 de la web-série "Making Of...", le skipper Charlie Enright, l'architecte naval Guillaume Verdier et le chef de projet de Mer Concept Armand de Jacquelot, ont réfléchi à la spécificité de la conception et de la construction d'un IMOCA 60 pour une course en équipage.

### **L'ART PREND LE LARGE**

*"What's below the surface connects us all"* <sup>18</sup> est le message central de 11th Hour Racing Team dans sa mission de favoriser un changement positif au sein de l'industrie maritime et au-delà.

Les couleurs de la coque et des voiles du 11.2 sont la traduction visuelle de la mission de l'équipe. Elles sont le fruit d'une collaboration avec le duo d'artistes italiens Van Orton Design et le spécialiste français de décoration de bateau de course, Jean-Baptiste Epron.

Dans la deuxième partie de la web-série en trois volets "Making Of...", les créatifs impliqués dans le projet ont partagé leur expérience et leurs inspirations pour faire de cette vision une réalité tangible.

### **"INNOVATION STORY"**

D'un côté, une utilisation intensive de l'énergie et des matériaux et, de l'autre, un besoin urgent de faire évoluer l'industrie maritime. Comment l'équipe a-t-elle abordé cette problématique complexe lors de la construction du nouveau bateau ?

Dans l'épisode 3 de la série web "Making Of...", les domaines clés en matière d'innovation et la manière dont la construction du nouvel IMOCA 60 a repoussé les limites pour définir de nouvelles références pour la Classe et l'industrie maritime au sens large sont partagés.

---

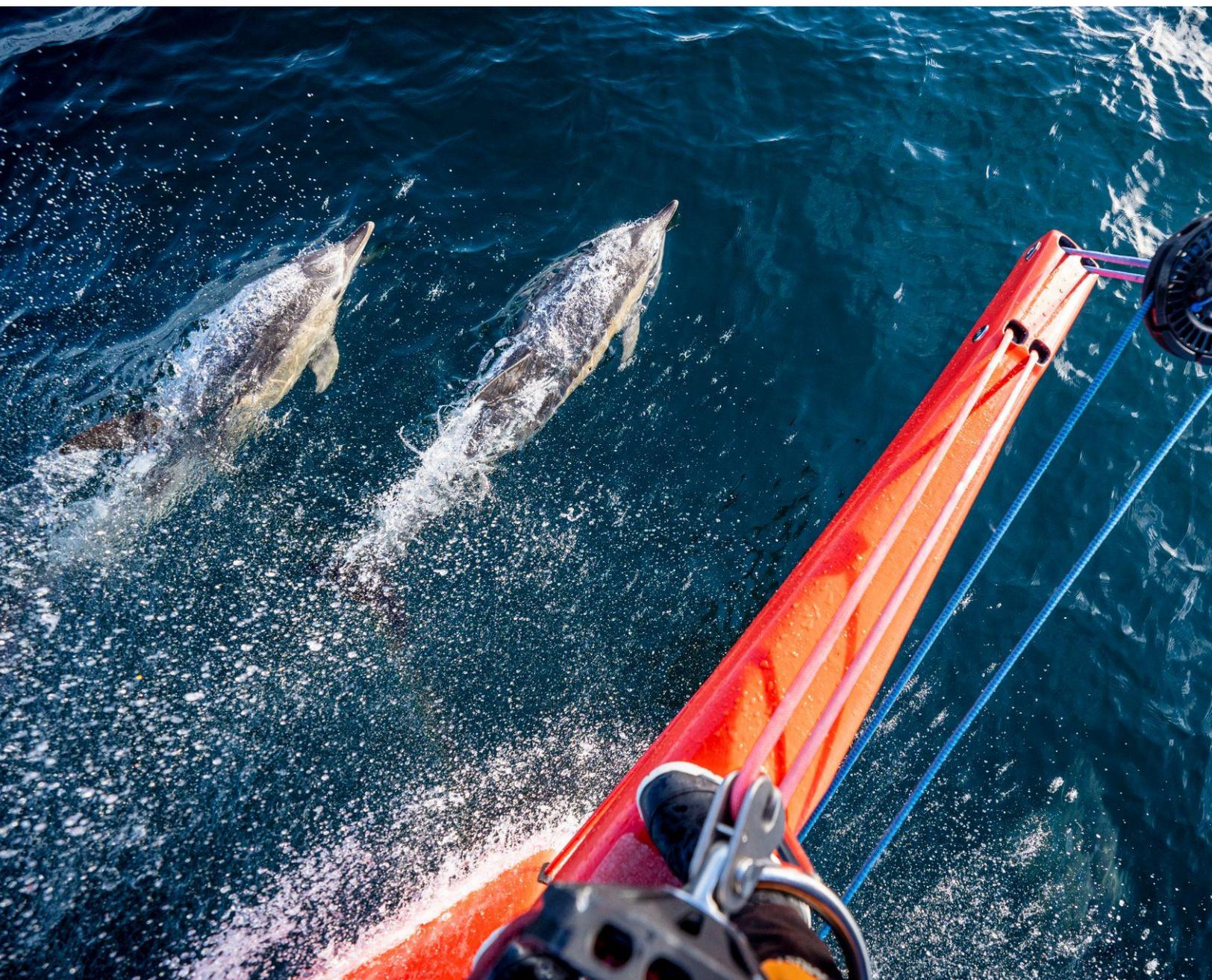
<sup>18</sup> "Ce qui se trouve sous la surface nous relie tous"

## MARK CHISNELL SUR '11.2'

Spécialiste de la voile, [Mark Chisnell](#) est un romancier et un auteur de reportage britannique.

L'ancien sportif professionnel a plongé dans les coulisses de la conception et de la construction du nouvel IMOCA 60 de l'équipe, avec une série de reportages en trois parties, mettant en lumière les sujets suivants :

1. [The design challenge](#)
2. [The design solutions](#)
3. [The build story](#)



# COMPOSANTS DE FABRICATION

## PANNEAUX DE PONTS

En 2020, l'équipe a fait réaliser un panneau test de tableau arrière, fabriqué à partir de matériaux alternatifs ayant une empreinte carbone plus faible que l'approche habituelle en composite carbone. L'objectif était d'étudier la possibilité que des matériaux d'origine biologique puissent offrir les qualités de résistance et de poids requises pour ce composant. La pièce a subi des tests non destructifs avec les mêmes paramètres techniques qu'une pièce en composite carbone et a satisfait l'équipe de conception et de construction au point que cinq autres panneaux ont été commandés pour 2021. Les matériaux utilisés étaient la fibre de lin, une résine biosourcée à 35% et une âme en PET 100% recyclé.

**Défis** *"Le plus grand défi pour la construction des panneaux de pont était de développer un composant à partir de matériaux alternatifs, tout en respectant le poids cible d'un panneau en carbone et en supportant les mêmes charges. Nous y sommes parvenus par plusieurs itérations d'optimisation couvrant des cas de charge spécifiques mais aussi des cas d'utilisation quotidienne. Il en est résulté des délais de stratifications et un processus de fabrication plus complexes."*

**Réussites** *"La plus grande réussite a sans aucun doute été de construire les composants en gardant à l'esprit les objectifs fixés par le "business as usual" et d'obtenir une finition aussi impeccable. En outre, le fait de travailler avec une équipe de haute performance au sommet de la course au large a été une expérience enrichissante et une excellente occasion de montrer le potentiel des matériaux et de la technologie que nous utilisons."*

**Transmission et scalabilité** *"Nous avons véritablement acquis de l'expérience dans l'optimisation des délais de stratification pour un cas de charge spécifique. Le processus de fabrication développé a permis d'améliorer encore le rapport de volume des fibres, ce qui a conduit à des composants plus solides et plus légers, qui seront utilisés pour de futures applications dans nos bateaux et composants de série."*

**Hendrik Plate, Directeur du développement des produits, Greenboats**



## CALE MOTEUR & BACS BATTERIE



"La cale moteur et les bacs à batteries étaient de bonnes applications des matériaux alternatifs tels que la fibre de lin en raison de leurs propriétés d'amortissement des vibrations et du bruit. Nous avons construit quelques pièces avec le lin standard que nous avons trouvé difficile à imprégner néanmoins l'utilisation d'un tissu d'arrachage permet une finition propre sur les bords dans la mesure où le PowerRibs ne se ponce pas facilement." - **Lucien Moore, constructeur de bateaux - 11th Hour Racing Team**

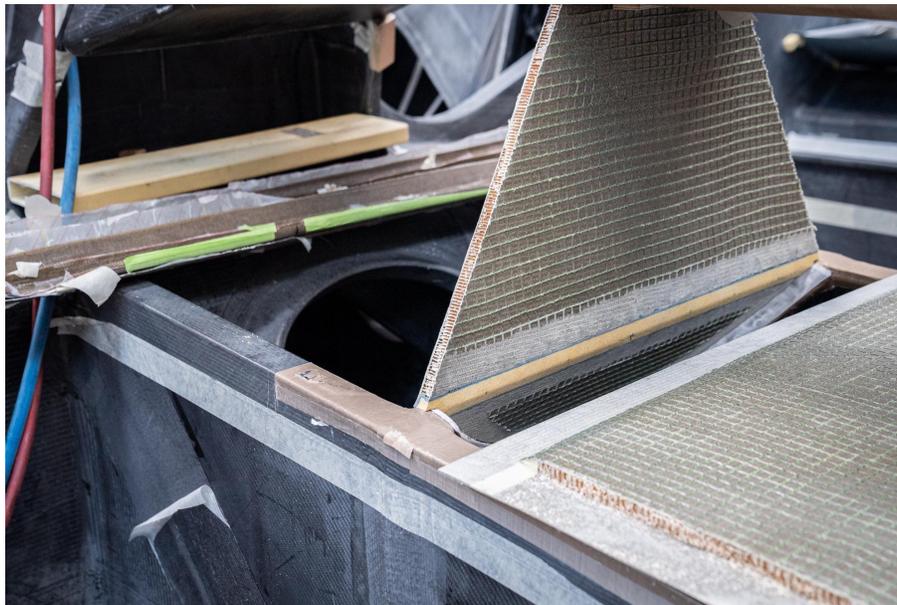
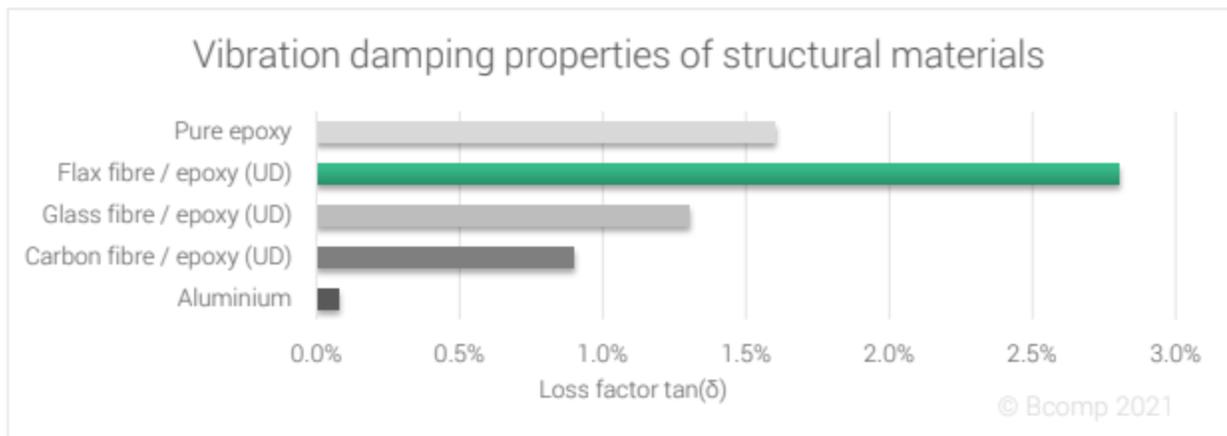


Image : Construction de la cale moteur en biocomposite sous le pont.  
Crédit : Amory Ross / 11th Hour Racing Team

## BERS

Les bers ont été construits sur place en se servant d'un conteneur d'occasion comme base, d'une structure en aluminium pour les cadres et l'un des conformateurs a été fabriqué à partir de carbone recyclé, de résine biosourcée, d'une âme en PET recyclé et de PowerRibs.

Au cours du chantier, l'équipe de construction a indiqué que la fibre de carbone recyclée Carbiso était plus facile à manipuler que le mat de fibre de verre et qu'il était facile d'obtenir une épaisseur sans multiplier le nombre de couches. Le défi du premier test du produit consistait à ce que la résine s'écoule uniformément à travers tout le matériau. L'équipe a donc essayé de placer une couche de PowerRibs entre chaque pli de [Carbiso](#), puis a réalisé un deuxième test avec une couche sur deux, ce qui a permis aux PowerRibs de fonctionner avec succès comme support de transfert de résine pendant le processus d'infusion. L'âme utilisée était du PET recyclé, assez poreux et facile à travailler, mais il fallait percer des trous pour s'assurer que la résine circulait bien. Ce procédé a permis d'obtenir un rapport approximatif et satisfaisant de 50:50 entre la fibre et la résine, ainsi que des excédents de résine lors du processus d'infusion.

- 3 couches de Carbiso avec PowerRibs entre elles
- Mousse PET recyclée
- 2 couches de Carbiso avec PowerRibs entre elles
- Système de résine biosourcée AMPRO

### OBSERVATIONS

Les PowerRibs ont montré quelques vides à chaque intersection. L'utilisation d'un procédé autoclave améliorerait cela. L'une des limites des PowerRibs dans ce type d'application est que les nervures apparaissent en relief, donc utilisées sur une surface moulée, elles auraient besoin de quelques couches de carbone de finition, ou d'une préparation ultérieure (enduisage et ponçage).



*Image : Ber utilisé le jour du lancement de 11.2.*

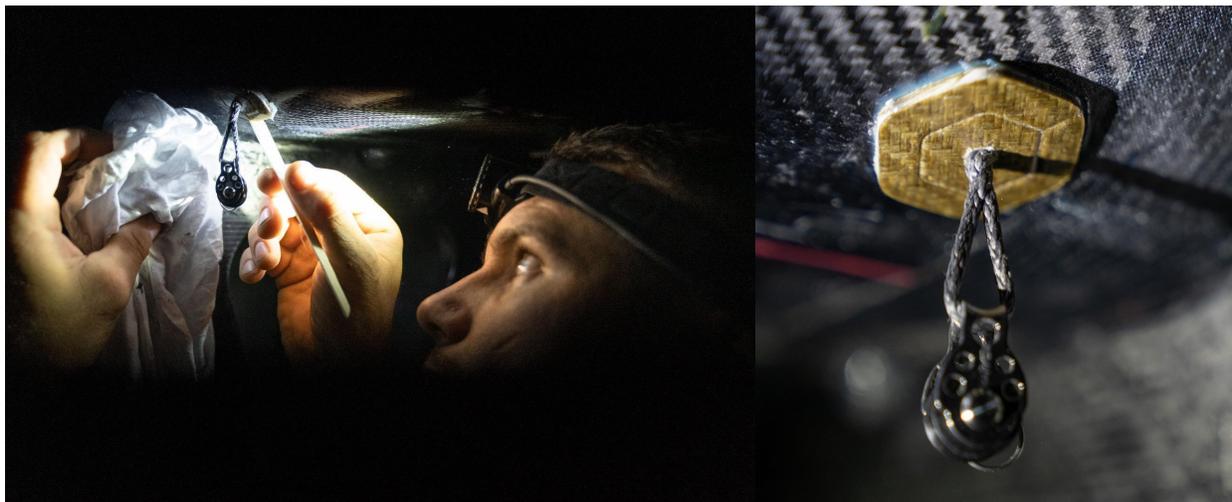
Autres observations issues du chantier :

- Des améliorations ont été apportées à la technique et aux produits au fur et à mesure de la construction de chaque pièce.
- Le système d'infusion à base de résine biosourcée présente un pic d'exothermie élevé et la pièce a dû être refroidie à l'eau.
- Une fois imprégné, le Carbiso était encore assez poreux mais a pu s'assembler correctement.
- Les futurs produits FCr à tester comprennent le ruban de carbone en fibres alignées recyclées Lineat, avec une fraction volumique de fibres réduite et des propriétés de résistance plus proches de celles des fibres vierges.



## PAD EYES

Petit élément du bateau, les pad eyes étaient un excellent exemple de matériaux alternatifs, fabriqués par Carbon Instinct, à partir de lin, de résine biosourcée et en utilisant le dyneema biosourcé de Marlow.



©: Kristi Wilson / 11th Hour Racing

## CARÉNAGE DU PANNEAU DE PONT

Comme pour la cale moteur et les bacs à batteries, le carénage du panneau de pont avant a été construit à partir de fibre de lin, de résine biologique, de PET recyclé et de PowerRibs. L'expérience acquise lors de la construction de composants antérieurs a contribué à ce processus, puisque l'équipe a testé l'utilisation d'une fine bande de tissu d'arrachage sur les bords de la pièce, sous les PowerRibs. Cela signifie qu'ils peuvent être facilement retirés pour le collage, plutôt que d'avoir à les poncer, ce qui peut endommager la surface.



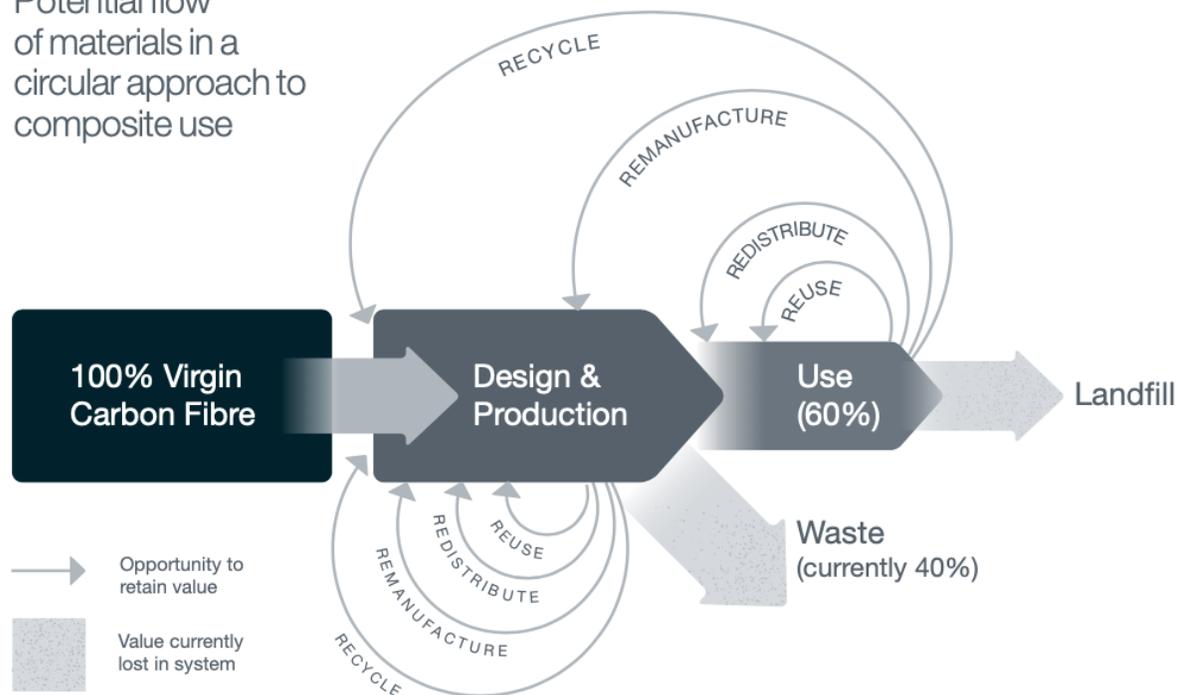
Images : Carénage du panneau de pont avant en bio composite peint en rouge © Ben Bireau / 11th Hour Racing Team

# CIRCULARITÉ

Les trois principes clés de l'économie circulaire sont les suivants :

- Éliminer les déchets et la pollution.
- Conserver les produits et les matériaux en circulation.
- Régénérer les systèmes naturels.

Potential flow  
of materials in a  
circular approach to  
composite use



**Graphique : Approche de l'économie circulaire appliquée à la fibre de carbone**  
**Source : Dr Susie Tomson, Earth2Ocean**

## OBJECTIFS

L'utilisation linéaire des ressources, et l'externalité qui en résulte - les déchets - est omniprésente dans l'industrie maritime. En repensant la circularité des matériaux et des composants au sein du système, les déchets deviennent une ressource.

L'équipe s'est fixé pour objectif de détourner 90 % des déchets destinés à la mise en décharge sur l'ensemble de la campagne. Pour ce faire, il était essentiel de comprendre le système de gestion des déchets et des ressources du chantier naval de CDK Technologies, ainsi que d'impliquer les fournisseurs de la chaîne d'approvisionnement sur les questions de design, d'emballage et de solutions de fin de vie.

Ce chapitre détaille la répartition des matériaux, des ressources et des déchets tout au long de la phase de conception et de construction et présente plusieurs études de cas, ainsi que les enseignements qui en ont été tirés.

## CIRCULTYICS

[Circulytics](#) est un outil de mesure qui permet à l'utilisateur de quantifier la circularité des ressources matérielles dans un système. En utilisant un ensemble d'indicateurs tels que l'utilisation ou la récupération des matériaux, l'outil fournit une mesure indexée où 0 est linéaire, et 1 est circulaire.

Un élément important lorsqu'on considère la circularité sont les aspects de longévité et le nombre de cycles ou de recyclages.

Étant donné la complexité de l'inventaire des ressources utilisées pour la construction de 11.2, l'équipe n'a pas effectué une analyse complète, mais cela sera envisagé à l'avenir. Une analyse détaillée de la récupération des ressources ou des déchets par kilos et % de poids se trouve dans la section suivante.

## VALORISATION DES RESSOURCES ET ANALYSE DES DÉCHETS

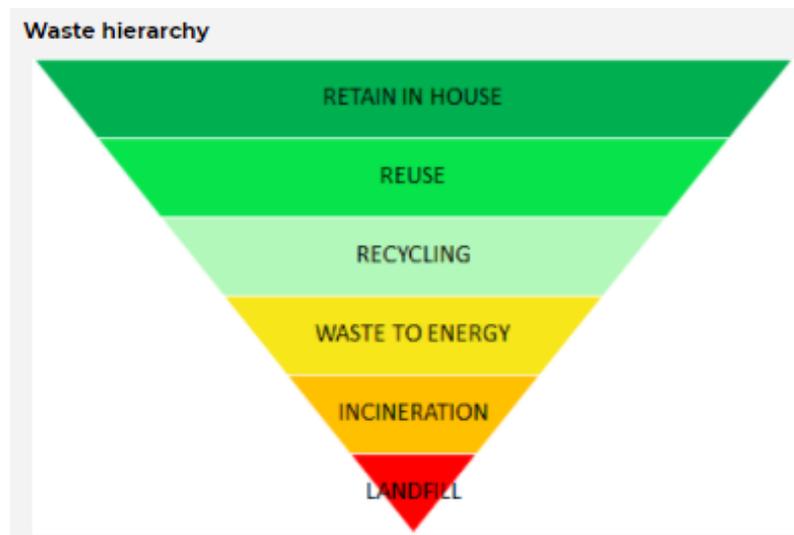
Parallèlement à l'étude d'ACV, l'équipe a entrepris une évaluation détaillée de la récupération des ressources et des déchets qui a consisté à compiler des mesures détaillées des déchets sur le site pendant les différents processus de construction. Lorsque les fournisseurs n'ont pas fourni de données spécifiques, des hypothèses ont été formulées concernant le pourcentage de déchets au cours du processus de saisie des données de l'ACV.

L'analyse suivante est basée sur le système complet (bateau sorti et prêt à naviguer).

Au total, 34,5 tonnes de matériaux divers ont été utilisées pour construire le bateau et ses composants, soit

- Les ressources matérielles, y compris les mannequins, les moules, les gabarits, les chutes et les déchets - 25,9 tonnes métriques.
- Le produit final IMOCA (11.2) - 8,6 tonnes.

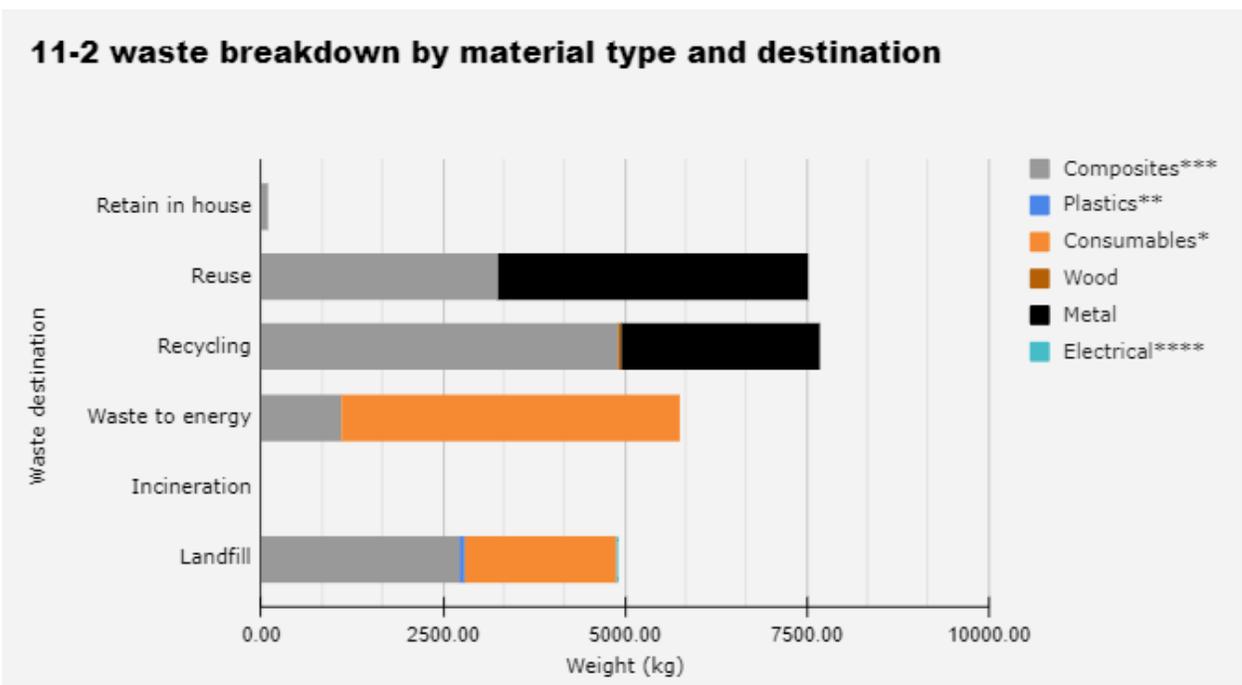
L'équipe a utilisé la classification suivante de la gestion des ressources dans le but de conserver les matériaux et les composants et de les réutiliser en interne. Lorsque la réutilisation en interne ou en externe n'était pas possible, des solutions alternatives ont été explorées, avec pour objectif central d'éviter la mise en décharge.



L'analyse détaillée de la récupération des ressources et des déchets de fabrication est résumée ici.

**Tableau : Analyse de la récupération des ressources et des déchets de fabrication - Types de matériaux vers la prochaine utilisation ou destination**

BREAKDOWN OF TOTAL MATERIAL/RESOURCE MANAGEMENT BOAT LAUNCHED READY TO SAIL							
Kg	Composites***	Plastics**	Consumables*	Wood	Metal	Electrical****	Total
Retain in house	94.00						94.00
Reuse	3258.00				4250.00		7508.00
Recycling	4899.00			42.00	2747.74		7688.74
Waste to energy	1112.25		4645.54	0.50			5758.29
Incineration							0.00
Landfill	2720.59	77.03	2087.83			10.89	4896.34
<b>Total</b>	12083.84	77.03	6733.37	42.50	6997.74	10.89	<b>25945.36</b>

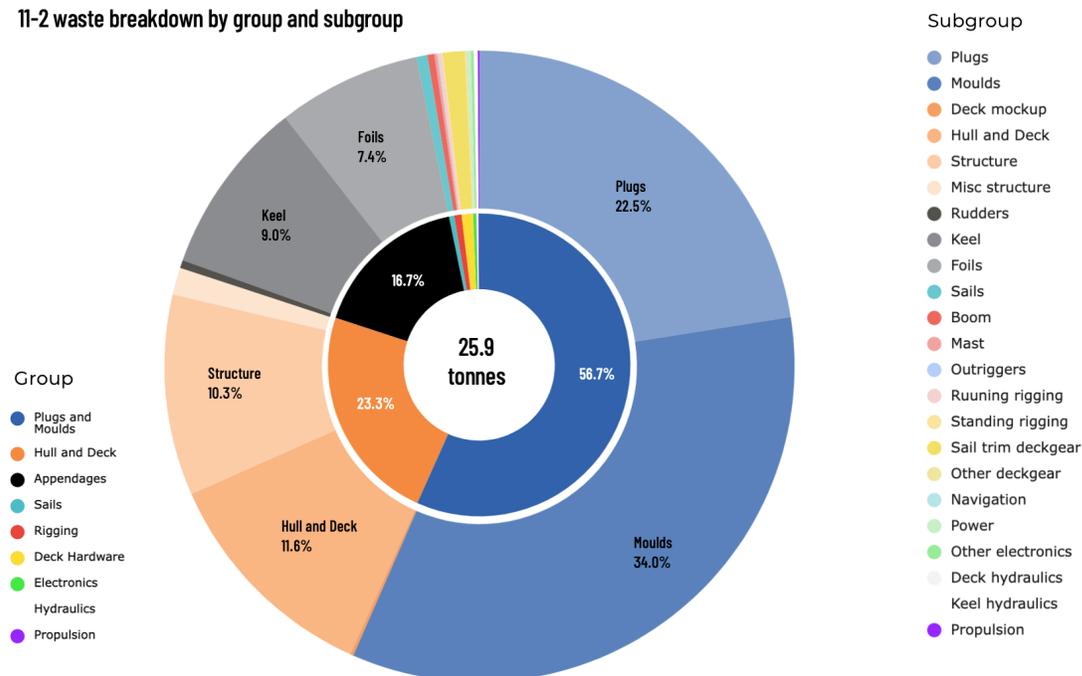


**Graphique : Analyse de la récupération des ressources et des déchets de fabrication - Types de matériaux vers la prochaine utilisation/destination**

La récupération totale des ressources et des déchets dans l'ensemble du système était de 25,9 tonnes métriques, dont 7,6 tonnes (30 %) ont été conservées ou réutilisées, 7,6 tonnes (30 %) ont été recyclées, 5,7 tonnes (22 %) ont servi à produire de l'énergie et 4,9 tonnes (19 %) ont été mises en décharge.

Un examen détaillé de l'inventaire de fabrication tel qu'il a été structuré pour l'analyse du cycle de vie permet de mieux comprendre quels composants ont généré le plus de ressources à récupérer et de déchets.

**11-2 waste breakdown by group and subgroup**



**Graphique : 11.2 répartition des déchets par groupe et sous-groupe**

Les mannequins, les moules, la coque et le pont assemblés représentent un total de 80% de la ressource. Si l'on ajoute les pièces composites des appendices, presque 87% des ressources matérielles et des déchets d'un IMOCA sont liés à la fabrication des composites. Le reste est réparti entre la quille (9%) et tout le reste (3%).

En ce qui concerne les ressources et les déchets des matériaux composites, 57 % de l'empreinte totale de la construction est liée à la fabrication et à la fin de vie des mannequins et des moules. Les mannequins mâles ont produit 5,8 tonnes métriques (t) de déchets, dont 3,3 t de mousse EPS ont été recyclées mécaniquement par le fournisseur, tandis que les 2,5 t restantes ont été mises en décharge.

Le mannequin est assurément un sujet à explorer et à optimiser davantage (voir les recommandations stratégiques) :

- Réussite : le recyclage de 3,3t de mousse EPS, une pratique inhabituelle.
- Zone d'amélioration : 2,5t de déchets de mousse EPS mis en décharge représentent plus de la moitié des 4,9t de décharges totales liées à l'ensemble du projet, la majorité des 2,4t de décharges restantes étant également appliquées par le même fournisseur aux déchets générés par la construction des moules.
- Considération future : les mannequins représentent un pourcentage important des déchets et des émissions de GES d'une construction : sont-ils vraiment nécessaires pour les prochaines ?

**Tableau : Répartition des déchets par groupes et sous-groupes de composants**

<b>GROUP</b>	<b>Kg WASTE</b>	<b>%</b>	<b>Sub-Group</b>	<b>Kg WASTE</b>	<b>%</b>
<b>Plugs and Moulds</b>	14714	56.7	<b>Plugs</b>	5,839.00	22.5
<b>Hull and Deck</b>	6052	23.3	<b>Moulds</b>	8,833.00	34.0
<b>Appendages</b>	4344	16.7	<b>Deck mockup</b>	42.00	0.2
<b>Sails</b>	147	0.6	<b>Hull and Deck</b>	3,021.50	11.6
<b>Rigging</b>	201	0.8	<b>Structure</b>	2,670.00	10.3
<b>Deck Hardware</b>	320	1.2	<b>Misc structure</b>	361.00	1.4
<b>Electronics</b>	91	0.3	<b>Rudders</b>	104.74	0.4
<b>Hydraulics</b>	54	0.2	<b>Keel</b>	2,330.00	9.0
<b>Propulsion</b>	23	0.1	<b>Foils</b>	1,908.00	7.4
			<b>Sails</b>	147.00	0.6
			<b>Boom</b>	92.00	0.4
			<b>Mast</b>	36.00	0.1
			<b>Outriggers</b>	11.00	0.0
			<b>Running rigging</b>	50.00	0.2
			<b>Standing rigging</b>	11.00	0.0
			<b>Sail trim deckgear</b>	292.00	1.1
			<b>Other deckgear</b>	28.00	0.1
			<b>Navigation</b>	7.00	0.0
			<b>Power</b>	45.00	0.2
			<b>Other electronics</b>	38.00	0.1
			<b>Deck hydraulics</b>	8.00	0.0
			<b>Keel hydraulics</b>	46.00	0.2
			<b>Propulsion</b>	23.00	0.1

## **PÉRENNISER LES PRODUITS UTILISABLES**

Réutiliser, remettre à neuf, réparer sont autant d'actions essentielles pour pérenniser l'utilisation des matériaux et des produits.

Qu'il s'agisse de la réutilisation en fonction de la longévité ou de la réparabilité, tous ces éléments dépendent de la prise en compte de la fin de vie au moment de la conception. Du plus petit au plus grand potentiel de réduction d'impact, quelques exemples clés sur lesquels l'équipe a travaillé sont énumérés dans le tableau ci-dessous. En outre, l'équipe a soutenu [l'initiative Givebox](#) en consolidant un vaste inventaire de produits non utilisés destinés à être transmis à de nouveaux propriétaires.

## **CONSERVER LES MATÉRIAUX RÉUTILISABLES**

La réutilisation, le recyclage et le décyclage des matériaux requièrent une fois de plus de prendre en compte le matériau d'un composant lors de sa conception et de sa fabrication, et nécessitent souvent une collaboration sectorielle ou intersectorielle pour trouver et coordonner des moyens de réutilisation et d'échange de matériaux et de ressources. Le recyclage de la fibre de carbone était le principal objectif de l'équipe et est décrit dans le tableau ci-dessous et dans le [chapitre Matériaux alternatifs](#).

## **RÉDUIRE LES DÉCHETS DÈS LA CONCEPTION**

Au cours de l'audit environnemental réalisé chez CDK Technologies, l'équipe a découvert qu'un processus de gestion des ressources, des matériaux et des déchets était déjà bien établi. Grâce à cela, les chantiers navals n'ont envoyé aucun déchet à la décharge.

Diverses études de cas présentées dans ce rapport décrivent certains des autres défis et réussites, notamment :

- [SCÉNARIO - EMBALLAGE](#)
- [SCÉNARIO - FOILS](#)
- [SCÉNARIO - MOULES](#)
- Tableau des observations clés ci-dessous

**PRINCIPALES OBSERVATIONS DANS LE DOMAINE DE LA VALORISATION DES RESSOURCES ET DE LA GESTION DES DÉCHETS**

FdV	Article	Kg	Plan
Conservé en interne	Moule du bout-dehors	94	Le moule du bout-dehors est actuellement conservé chez CDK Technologies, pour être réutilisé ou recyclé.
Réutilisé	Moules de coque, de pont et de quille	3278	Les moules de la coque et du pont ont été immédiatement réutilisés par l'équipe IMOCA MC5, ce qui a permis d'économiser un total de 7 528 kilos et 171 tonnes de CO2e.
	Structure métallique des moules	4250	
Recyclé	Mannequins EPS	3367	La mousse EPS des mannequins a été recyclée mécaniquement par un prestataire.
	Chutes de foils	1550	Les foils du 11.2 ont été construits en utilisant la méthode "hors plan", ce qui signifie qu'aucun outillage n'a été requis. Cependant, 1,5 tonne métrique de déchets composites a été générée par ce processus de construction, notamment après le processus de découpe au jet d'eau. Il s'agit d'un composite FC/époxy durci qui sera recyclé grâce à un partenariat avec Gen2 Carbon.
	Mock up du pont	42	Réalisé à partir de bois certifié PEFC en anticipant sa déconstruction, une partie a été réutilisée sur place, l'autre recyclée.
	Voile de quille	2278	Recyclé par un prestataire.
	Bulbe de quille	110	Le fabricant du bulbe de quille utilise un moule ou un moulage "générique", réutilisé pour chaque IMOCA. Il est optimisé à +/- 10 mm de la forme finale, produisant ainsi beaucoup moins de déchets de plomb qui sont ensuite recyclés par le fabricant.
	Équipement du gréement, électronique et hydraulique	294	Les données du fabricant du système hydraulique ont confirmé une très faible déperdition due à une utilisation initiale optimisée des matériaux, à leur réutilisation et à leur recyclage en interne.
Incinération avec valorisation énergétique	Déchets de FC pré-imprégnés	841	Les chutes de FC pré-imprégnées non polymérisées générées par CDK Technologies pendant le processus de fabrication ont été envoyées dans une filière de valorisation énergétique. Peu de possibilités de recyclage existent en France pour les fibres de carbone ou les pré-imprégnés époxy.  Depuis la construction du 11.2, CDK Technologies a pris l'initiative de collaborer avec une entreprise locale du secteur du bâtiment pour trouver une alternative de réutilisation. Le taux de chutes de pré-imprégnés est estimé à 30% du total des pré-imprégnés, soit 700 kg de déchets pour une construction IMOCA. Le gain environnemental potentiel associé au scénario de réutilisation a été évalué en utilisant MarineShift360 et montre une économie de 1,7 tonnes de CO2.
	Film de protection de pré-imprégné	1210	Au cours de la construction du 11.2, 1,2 tonne métrique de film en plastique de préimprégné a été générée (chaque mètre carré de tissu préimprégné génère deux fois plus de film plastique). En l'absence d'une meilleure solution, ce plastique a été incinéré. L'équipe a par la suite pris contact avec des recycleurs spécialisés locaux qui peuvent recycler ce matériau avec une économie potentielle de 2,85 tCO2e.
	Bâche à vide	2200	CDK Technologies réutilise systématiquement les bâches à vide, économisant ainsi environ 25% de plastique.
	Bâche en plastique - peinture	350	120 mètres linéaires de bâche en poly à usage unique ont été utilisés pendant le processus de peinture.
Décharge	Mannequins et moules, chutes de FC/FG	4892	19 %, soit 4,9 tonnes, de l'ensemble des déchets ont été mis en décharge, la totalité de ces déchets étant associée à la fabrication des mannequins et des moules.
Total		25939	Le total de la récupération des ressources/déchets était de 26 tonnes métriques de déchets mixtes, 7,6t (30%) conservés/réutilisés, 7,6t (30%) recyclés, 5,7t (19%) déchets-énergie, 4,9t (22%) mis en décharge.

## RECOMMANDATIONS

- Prévoir la fin de vie des matériaux dans le processus et le système dès le départ.
- Garder les matériaux dans le système aussi longtemps que possible.
- Créer une demande de matériaux recyclés "à l'entrée et à la sortie".
- N'utiliser les déchets pour la valorisation énergétique qu'en dernier recours.
- Avoir une politique stricte de non mise en décharge des déchets.
- Les points à améliorer de manière significative sont les suivants :
  - Le recyclage des films de protection de préimprégné
  - Le recyclage du préimprégné et des autres chutes de carbone.
  - Des alternatives aux consommables composites courants : tissus d'arrachage, bâches à vide, supports de transfert.
  - Les consommables de peinture, en particulier les bâches en plastique.



# ÉNERGIES RENOUVELABLES À BORD

## OBJECTIF

L'objectif était de rendre le système embarqué aussi efficace que possible sur le plan énergétique et de dépasser les objectifs en matière d'énergies renouvelables fixés par The Ocean Race. L'équipe cherche à obtenir un avantage en termes de performance grâce aux sources d'énergie renouvelables installées à bord, par le biais d'incitations à la mesure dans la règle IMOCA et la nécessité de transporter moins de diesel à bord.

<b>Énergies renouvelables à bord</b>	1. Comprendre et obtenir des éclaircissements sur les règles de la course.
	2. Rechercher et examiner les options et la faisabilité des énergies renouvelables.
	3. Faire des recommandations pour atteindre un minimum de 30% d'énergies renouvelables à bord.
	4. Mettre en œuvre le plan.

## ACTION

La principale source d'énergie renouvelable à bord provient d'un panneau solaire sur mesure posé sur le pont qui, par beau temps, répondra à la majorité des besoins énergétiques quotidiens. Un hydrogénérateur sera utilisé en appoint.

Pour des raisons de sécurité, le bateau sera équipé d'un moteur diesel, conformément aux règles de la classe. L'équipe a travaillé dur pour s'assurer de son efficacité, afin de réduire le plus possible la consommation de combustibles fossiles.

À la place d'un système de charge conventionnel à alternateur, le bateau est équipé d'un moteur-générateur électrique qui améliorera l'efficacité de la charge de 60 % environ à plus de 90 %. Le travail réalisé dans ce domaine avec Diverse Performance Systems devrait ouvrir la voie au développement d'un système hybride adapté qui réduira encore la dépendance aux combustibles fossiles sans compromettre la sécurité.

## BILAN

La principale innovation est la batterie centrale de 48 V et l'énergie solaire arrivant à la même tension ou à une tension supérieure à la normale pour une meilleure efficacité. Cela devient de plus en plus courant au sein de la Classe IMOCA.

Nous contrôlons et enregistrons aussi les différentes sources d'entrée et de sortie de puissance pour faire remonter l'information et améliorer encore les conceptions futures.



## RECOMMANDATIONS

Un élément important qui freine l'efficacité globale du système est le fait que le système de quille monotype imposé par la classe fonctionne à 24V. Si le système de quille était autorisé à fonctionner à 48 V, il ne serait plus nécessaire d'utiliser des convertisseurs abaisseurs et cela éviterait les pertes liées à l'un des principaux consommateurs d'énergie.

# ANALYSE DE SCÉNARIOS

## ANALYSE DE SCÉNARIO - MOULES

### OBJECTIFS

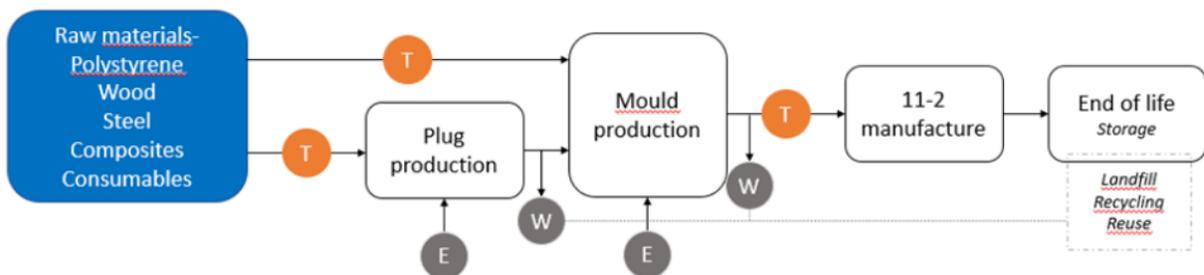
L'étude suivante porte sur l'évaluation des impacts environnementaux des moules de la coque et du pont du 11.2 construits en 2019 en Espagne en utilisant l'approche de l'analyse du cycle de vie (ACV).

Les objectifs de cette étude sont :

- Évaluer les impacts environnementaux potentiels des moules de la coque et du pont d'un IMOCA.
- Identifier les pistes d'amélioration et évaluer les gains environnementaux potentiels.

La portée de cette analyse est décrit ici :

Comprend les matières premières, le processus de fabrication et le transport des mannequins et des moules, il ne comprend pas la fabrication et l'assemblage de 11.2 qui est compilé dans l'ACV-2 (11.2).



### BILAN



Global Warming	Mineral Resource Scarcity	Energy consumption	Water consumption	Marine Eutrophication
tCO2e	kg Cue	MJ	m3	kg Ne
<b>171</b>	<b>1,050</b>	<b>4,200,000</b>	<b>2,440</b>	<b>79</b>

## PISTES D'AMÉLIORATION

Tableau : Moules de coque et de pont, potentiel de réduction de l'impact, par rapport au système complet (IMOCA lancé et prêt à naviguer - 553 tCO2e) Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta, juin 2021

	FEASIBILITY	tCO2e	Global Warming (%)	Mineral Resource Scarcity (%)	Energy consumption (%)	Water consumption (%)	Marine Eutrophication (%)
<b>1. Reuse of steel structure at 50%</b>	GOOD	-6.6	-1.2	-2.9	-0.4	-1	-0.2
<b>2. Recycling of production waste (EPS,foams,CF/GF)</b>	POSSIBLE	-2.2	-0.4	-0.1	-0.3	-0.5	-0.1
<b>3. Integrate recycled carbon fibre</b>	POSSIBLE	-23.8	-4.3	-0.3	-4.1	-2.6	-1.6
<b>4. 100% Bioresin</b>	GOOD	-2.7	-0.5	-0.1	-0.3	-0.5	0
<b>5. Local supplier</b>	GOOD	-5.6	-1	-0.1	-0.6	-0.1	0
<b>6. No Plugs</b>	POSSIBLE	-46	-8.3	-4.6	-6.3	-13.5	-13
<b>All improvements tracks</b>		-87	-15.7	-8.1	-12	-18.2	-14.9
<b>Best improvement track Reuse of the molds</b>	EASY	-171	-31	-10	-26	-32	-34

## RECOMMANDATIONS

La construction et l'utilisation des moules représentent 50 % de l'impact total d'un IMOCA tel qu'il est construit, soit 25 % de l'impact total d'un bateau mis à l'eau et prêt à naviguer. L'équipe a constaté que la construction et l'utilisation des moules constituaient un domaine important d'amélioration.

En supprimant les mannequins du processus de fabrication, on réduirait les déchets de 3 tonnes et les émissions de gaz à effet de serre de 46 tCO<sub>2</sub>e (8 % du total des émissions de gaz à effet de serre).

Matériaux alternatifs : certains secteurs de l'industrie des composites utilisent déjà la fibre de carbone recyclée et/ou la fibre de lin comme alternative à la fibre de carbone vierge dans les moules.

La réutilisation des moules est une des méthodes les plus efficaces pour réduire les impacts. Le moule du 11.2 avait déjà été utilisé par une autre équipe IMOCA, avant même que le 11.2 ne quitte le hangar de construction. En réutilisant le moule de 11th Hour Racing Team, cette nouvelle équipe a réduit l'empreinte de sa construction de 171 tCO<sub>2</sub>e.

Donner la priorité aux fournisseurs locaux : l'impact du transport des moules depuis l'Espagne jusqu'au site de construction en France sont abordées dans le [SCÉNARIO - TRANSPORT](#).



# ANALYSE DE SCÉNARIO - RETOUR DE L'EMBALLAGE

## RÉSUMÉ

Démontrant que l'intégration d'actions durables est judicieuse d'un point de vue commercial, une initiative clé en matière d'efficacité de fabrication prise par les constructeurs de bateaux de l'équipe, CDK Technologies, a consisté à collecter et à renvoyer en vrac les emballages des produits en fibre de carbone au fournisseur pour qu'ils soient réutilisés.

Si l'on tient compte du coût et de l'impact de l'emballage et du transport, la logistique inverse consistant à renvoyer l'emballage du produit au fournisseur pour qu'il le réutilise a permis :

- La réduction approximative de 1 tCO<sub>2</sub>e métrique par an.
- Des économies financières annuelles sur les nouveaux emballages et la gestion des déchets comprises entre 4 000 et 4 500 €.

## OBJECTIFS

L'objectif de l'étude suivante est d'estimer l'empreinte carbone de la réutilisation des cartons de pré-imprégnés qui consiste à renvoyer les cartons au principal fournisseur de pré-imprégnés de CDK Technologies, Gurit, situé en Espagne, afin de les réutiliser pour les prochaines expéditions.

Deux scénarios différents sur les options de transport ont été choisis et leurs émissions de carbone respectives ont été calculées selon la méthode de calcul des gaz à effet de serre des transports de l'ADEME\*.

- **Scénario 1** : Réutilisation de cartons de pré-imprégnés avec expédition par véhicule de type fourgon (1t de charge utile, diesel, consommation moyenne de 12l/100km) dont CDK Technologies serait l'unique bénéficiaire.
- **Scénario 2** : Réutilisation de cartons de pré-imprégnés avec expédition par véhicule de type camion (18t de charge utile, diesel, consommation moyenne de 35l/100km) impliquant plusieurs bénéficiaires.

Unité fonctionnelle : comparaison de l'empreinte carbone sur le cycle de vie d'une tonne de carton par rapport aux scénarios de fin de vie.

Hypothèses :

- Transport routier d'une tonne de carton sur une distance de 1 500 km.
- Le transport entre le fournisseur du carton et Gurit et entre Gurit et CDK Technologies pour la première expédition est exclu.

## BILAN

- Émissions liées au transport : (Calculées à l'aide du logiciel MarineShift360 beta, octobre 2021)
  - Scénario 1 GES = 550kg CO<sub>2</sub>e
  - Scénario 2 GES = 90kg CO<sub>2</sub>e
- Émissions évitées : (source [Ademe](#))
  - Émissions liées à la production du carton = 1,064kg CO<sub>2</sub>e/t
  - Émissions liées au recyclage mécanique du carton = 33kg CO<sub>2</sub>e/t

Total des émissions = émissions liées au transport - émissions évitées
--



Scénario 1  $GES_{Total} = - 547\text{kg CO}_2\text{e/t}$   
Scénario 2  $GES_{Total} = -1000\text{kg CO}_2\text{e/t}$

#### Conclusions :

Dans les deux scénarios, les réductions des émissions de carbone sont importantes, car la réutilisation du carton permet de bloquer le CO<sub>2</sub>. Des avantages continus peuvent être réalisés pour chaque cycle ultérieur de réutilisation et d'expédition en évitant la production de nouveau carton.

#### Coût :

Des économies financières positives ont été réalisées. D'après Gurit, le coût de l'emballage préimprégné pour une période de 12 mois de vente à CDK Technologies est de 7 314 € (dont 25 % de déchets). Si l'on tient compte du coût du transport vers l'Espagne (3 000 €) et du coût évité de la gestion des déchets (100 €), l'économie totale est d'environ 4 000 à 4 500 €.

## **RECOMMANDATIONS**

Le fait d'impliquer les fournisseurs sur le thème du transport, de l'emballage, des déchets et de la fin de vie des produits peut générer des économies financières tant pour ces derniers que pour les consommateurs finaux.

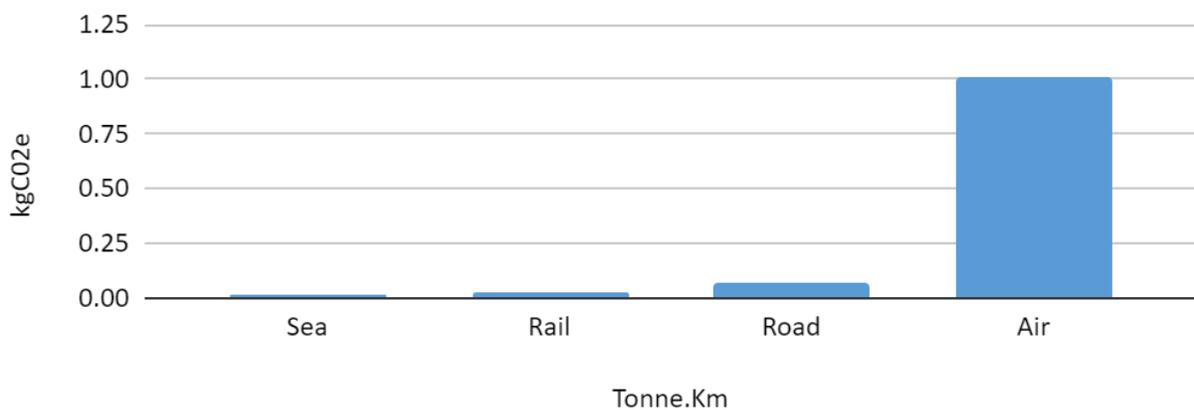
# ANALYSE DE SCÉNARIO - TRANSPORT

## OBJECTIFS

L'objectif principal de l'[analyse complète du scénario - Transport](#), qui est résumée ici, est d'identifier et de quantifier ce qui a le plus d'impact en terme de gaz à effet de serre lié aux étapes du transport international, afin d'évaluer le gain environnemental potentiel du recours à des fournisseurs locaux.

Les différences d'impact en matière de gaz à effet de serre entre les types de transport sont très importantes, le fret aérien étant presque 10 fois plus élevé que le transport routier, et 100 fois plus élevé que le transport maritime ou ferroviaire.

### Transport impacts



**Graphique : Protocole émissions de gaz à effet de serre par source et par Tonne.km**

## BILAN

Bien que la part de l'étape de transport de tous les matériaux représente moins de 2 % (9 tonnes de CO2e) des émissions totales de CO2e de l'ensemble de la conception et de la construction (553 tonnes de CO2e), certaines parties importantes du bateau ont été construites dans d'autres pays, ce qui a impliqué un fret aérien ou de longues distances routières :

- Les moules de la coque et du pont : de l'Espagne à Lorient (France).
- La bôme : d'Auckland (Nouvelle-Zélande) à Lorient (France).

**Tableau : Évaluation de l'impact des choix de fret international sur les émissions de GES  
Calculé en utilisant le protocole de gaz à effet de serre, 2021**

INTERNATIONAL FREIGHT	Quantity	Mode	km	Weight	Factor	Factor	kgCO2e	% Total GHG (553 tCO2e)
Boom	1	Air	18500	0.13	<a href="#">ton.km</a>	1.01	2,429	0.44%
Hull and deck molds	3	Road	1500	8	<a href="#">Truck.km</a>	1	4,500	0.81%
Total							6,929	1.25%

Le transport des moules de la coque et du pont représente une part importante des émissions de gaz à effet de serre liées au transport (4,5tCO2e). Cela peut s'expliquer par le poids et la dimension des pièces finales qui influent directement sur les émissions de gaz à effet de serre.

Le transport de la bôme depuis la Nouvelle-Zélande, représente une distance importante par fret aérien, et près de 2,4tCO2e.

## RECOMMANDATIONS

- Un total de 7 tCO2e peut être économisé en utilisant des solutions de chaîne d'approvisionnement plus proches et en faisant appel à des constructeurs situés dans le même pays que le site de construction.
- Lorsque le transport sur de longues distances est nécessaire, la planification permet d'utiliser des méthodes de transport à faible impact, comme le fret maritime, dont l'impact est 100 fois inférieur à celui du fret aérien.

# ANALYSE DE SCÉNARIO - MÉTAUX

## OBJECTIFS

- Comprendre l'impact des différents matériaux en métaux.
- Examiner les matériaux métalliques à fort impact dans la construction.
- Quantifier les réductions qui peuvent être réalisées en passant à des métaux à faible impact.
- Souligner l'importance de la sélection des matériaux, des processus et des hypothèses dans la construction de l'ACV.

## ACTION

L'[analyse complète du scénario - métal](#) est résumée ici.

L'équipe a calculé l'impact par tranche de 100 kg de chaque type de matériau métallique utilisé dans la construction du bateau. Les premières observations montrent que l'alliage de titane a un impact environ 10 fois supérieur à celui de l'acier inoxydable.

Pour prendre en compte les différents indices de performance de ces métaux, l'équipe a demandé à l'un de ses fournisseurs une comparaison générique du ratio poids/performance.

Sur cette base, l'équipe a calculé un indice de performance par rapport au titane pour chaque matériau : kg de matériau alternatif/kg de titane = indice de performance. Elle a ensuite appliqué cet indice de performance aux émissions de gaz à effet de serre.

**Tableau : Comparaison des impacts des émissions de GES de différents métaux ( adaptés au poids et à la performance structurelle) calculés avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021.**

Matériau	kgCO2e Remplacement de tout le titane kg - kg évalué pendant l'ACV 11.2	Perf. indice	kgCO2e - Remplacement de tout le titane	kgCO2e Delta - vs titane
			<b>Performance corrigée</b>	
Titane	26,521	1	26,521	-
Aluminium	20,293	1.5	30,439	+ 3,918
Acier inoxydable	14,507	1.57	22,776	- 3,744

## RECOMMANDATIONS

Avec 3,7 tCO2e, la réduction potentielle n'est que de 0,7 % pour l'ensemble du système (IMOCA mis à l'eau et prêt à naviguer). Une partie de de l'avantage quantifié ci-dessus peut être perdue par l'utilisation partielle de l'aluminium comme substitut (un métal dont les émissions de gaz à effet de serre sont comparables à celles du titane).

Une étude plus approfondie visant à appliquer des ajustements plus précis des propriétés mécaniques en fonction du poids et des catégories de matériaux pourrait valider la suppression de l'utilisation du titane au sein de la Classe IMOCA.

## ANALYSE DE SCÉNARIO - FOILS

Entre 2019 et 2021, l'équipe 11th Hour Racing Team a acheté de nouveaux foils pour le développement et l'optimisation du 11.1 ainsi qu'un jeu (deux foils) pour le 11.2.

### OBJECTIFS

Comprendre les émissions de gaz à effet de serre et l'impact en matière de déchets de deux méthodes différentes de fabrication de foils, utilisées par deux prestataires distincts, représentant les principales méthodes actuellement utilisées :

- Sans moule
- Avec moule

L'[analyse complète du scénario - foils](#) est résumée ici.

### BILAN

En comparant les deux méthodes de fabrication des foils, nous remarquons qu'en utilisant les indicateurs environnementaux des déchets et des émissions de gaz à effet de serre, les plus gros impacts sont associés aux foils fabriqués dans des moules.

**Tableau : Comparaison des émissions de gaz à effet de serre et de l'impact en matière de déchets des méthodes de construction des foils, adaptée en fonction du poids.  
Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021**

Jeu de foils (600 kilos)	Sans moule	Avec moule
Émissions GES (kgco2e)	90	96
Pourcentage de déchets	371%	524%

### RECOMMANDATIONS

L'intégration de foils dans la classe IMOCA a fait évoluer les performances dans certaines conditions. Cependant, à **+/- 100 tonnes de CO2e**, un jeu de foils représente presque **20 %** des émissions totales de GES de la conception et de la construction.

L'équipe a entrepris une étude relativement simple. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour valider les résultats, idéalement en comparant deux ensembles identiques de foils fabriqués à partir de deux méthodes différentes.

L'équipe recommande de comparer une troisième méthode de construction utilisant des parties structurelles imprimées en 3D afin de mieux comprendre les répercussions de ces méthodes en termes de gaz à effet de serre et de production de déchets.

Il est important de souligner les perspectives d'amélioration qu'offrent les types de construction composite, en ce qui concerne les consommables, les sources d'énergie, les processus de gestion des déchets et l'approvisionnement en matériaux.

# ANALYSE DE SCÉNARIO - CHOIX DE CONCEPTION VS. IMPACT

## OBJECTIFS

La réalisation d'une analyse du cycle de vie d'un IMOCA 60 construit en 2020 a confirmé que plus de 80 % des émissions de gaz à effet de serre sont associées à l'utilisation de matériaux composites. L'[analyse complète du scénario - 10m2](#) qui est résumée ici, utilise divers scénarios pour analyser le statu quo (« business as usual ») et le comparer aux alternatives (réelles et hypothétiques) afin de mieux comprendre le potentiel des pistes d'amélioration suivantes :

- Remplacer la fibre de carbone par de la fibre de carbone recyclée (FCr) ou de la fibre de lin dans les composants non structurels, par exemple 20 % de la partie non structurale des moules.
- Remplacer la résine époxy par une résine biologique.
- Choisir parmi les procédés d'infusion, de pré-imprégnation et de stratification manuelle.
- Définir le poids minimum des tissus carbone : 300 g/m<sup>2</sup> ou 150 g/m<sup>2</sup>.
- Choix des matériaux d'âme : Nomex, PET ou structures monolithiques.

## SCÉNARIOS

Utiliser une éprouvette de 10m<sup>2</sup> pour comparer différents matériaux composites et procédés. Si possible, adapter ces résultats à l'échelle correspondant à un IMOCA 60 et/ou à son composant.

Les scénarios envisagés ont été les suivants :

- Poids des tissus de carbone pré-imprégnés : 150 g/m<sup>2</sup> contre 300 g/m<sup>2</sup>.
- Remplacement de la résine époxy par une résine époxy biologique.
- Processus d'infusion versus pré-imprégné versus stratification manuelle.
- Comparaison des impacts poids/poids des fibres : fibre de carbone, fibre de lin et fibre de carbone recyclée.

## SCÉNARIO : 150 ou 300 g/m<sup>2</sup>

Le tableau ci-dessous met en évidence la différence entre l'utilisation des deux poids de tissu pré-imprégné pour fabriquer un panneau de 10m<sup>2</sup>.

**Tableau : Comparaison entre 150 et 300 g/m<sup>2</sup> utilisés pour laminier 10 m<sup>2</sup>.  
Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021**

Poids du tissu (g/m <sup>2</sup> )	150	300
Nombre de couche	12	6
Surface (m <sup>2</sup> )	120	60
Protection plastique (kg)	20.64	10.32
GES (kgCO <sub>2</sub> e)	1295	1249
Cuisson du pré-imprégné	12h at 95°C	

### Observations :

Les principaux aspects impactés par l'utilisation de différents poids de tissu sont les suivants :

- Le nombre de couches de tissu double.
- La surface totale du tissu double.
- La quantité de plastique de protection double.
- Le temps de travail et de construction augmente/double.
- Les autres consommables augmentent.
- La consommation d'énergie augmente (en raison du débit et des équipements).

Cela se traduit par une augmentation de 4 % (46 kgCO<sub>2</sub>e) des émissions de gaz à effet de serre.

### Conclusions :

La fixation d'un poids minimum pour le tissu est un moyen efficace de réduire les impacts environnementaux sans affecter de manière significative les performances structurelles.

## SCÉNARIO : RÉSINE ÉPOXY VS. RÉSINE ÉPOXY BIO

Les résines biosourcées ont une empreinte carbone moindre d'environ 50 %, utilisent deux fois moins de ressources rares et consomment 50 % moins d'énergie et d'eau qu'une résine non biosourcée moyenne. L'un des avantages les plus importants de la résine biosourcée pour les fabricants de composites est sa faible toxicité pour la santé humaine.

**Tableau : Impacts environnementaux de l'époxy et de l'époxy bio utilisés pour stratifier 10m2, Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta, octobre, 2021**

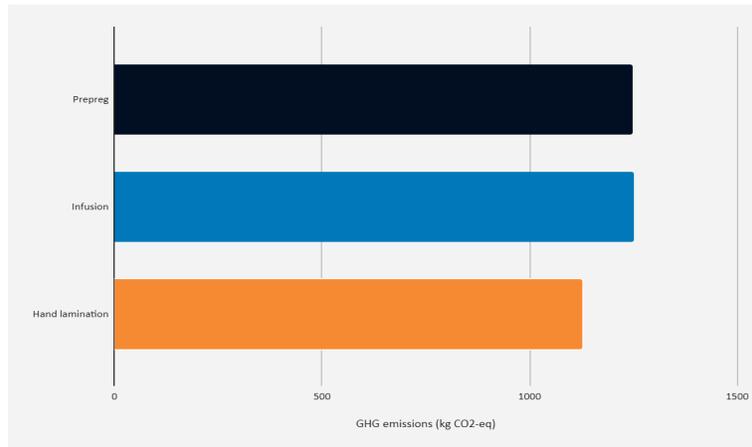
	GWP (kg CO2e)	Mineral resource scarcity (kg Cue)	Energy consumption (MJ)	Water consumption (m3)	Marine eutrophication (kg Ne)
CF/epoxy	1,252	1.82	30,217	10.77	0.18
CF/bio epoxy	1,233	1.75	29,822	10.52	0.18
Delta	19.27	0.07	391	0.25	0

### Observations:

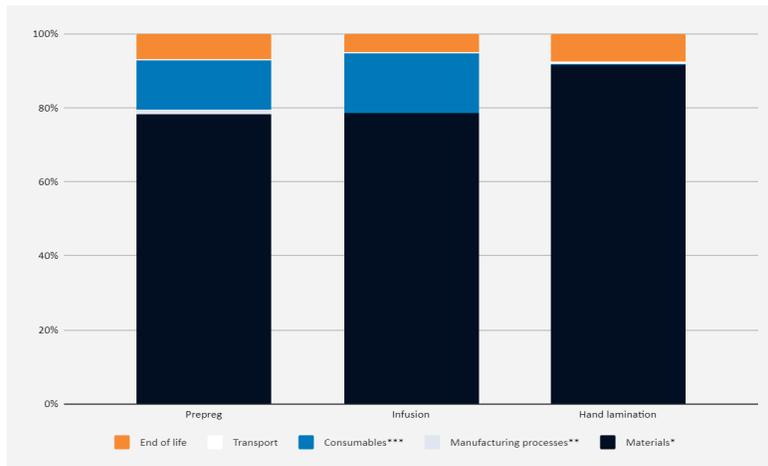
En utilisant le scénario de 10m2, la résine représente 3% des émissions de gaz à effet de serre, le choix de la bio-résine réduit cet impact de 19 kgCO2e, à l'échelle d'un IMOCA, cette réduction devient significative.

## SCÉNARIO : PRÉ IMPRÉGNÉ, INFUSION VS. STRAT MANUELLE

Afin de réaliser une comparaison réaliste, un débit de référence a été calculé pour chaque procédé sur la base de la composition volumique théorique des fibres. Il en résulte une différence de quantité de matériaux.



**Graphique : Comparaison des émissions de gaz à effet de serre du pré-imprégné, de l'infusion et de la stratification manuelle. Calculée avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021**



**Graphique : Ventilation des émissions de GES selon les processus de pré-imprégnation, d'infusion et de stratification manuelle, calculée à l'aide du logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021.**

### Observations

Les procédés de pré-imprégnation et d'infusion ont un impact similaire ou supérieur, 1 250 kg contre 1 130 kg de CO2-eq, à celui du procédé de stratification manuelle. Ce résultat confirme la part importante des consommables à vide (15%), même si une plus grande quantité de résine est nécessaire pour le processus de stratification manuelle. Cela conduit également à envisager l'utilisation de consommables à moindre impact (plastiques biosourcés) ou en plus petites quantités (ex. PowerRibs). Le processus de cuisson du pré-imprégné ne contribue qu'à 1,2 % des émissions de GES.

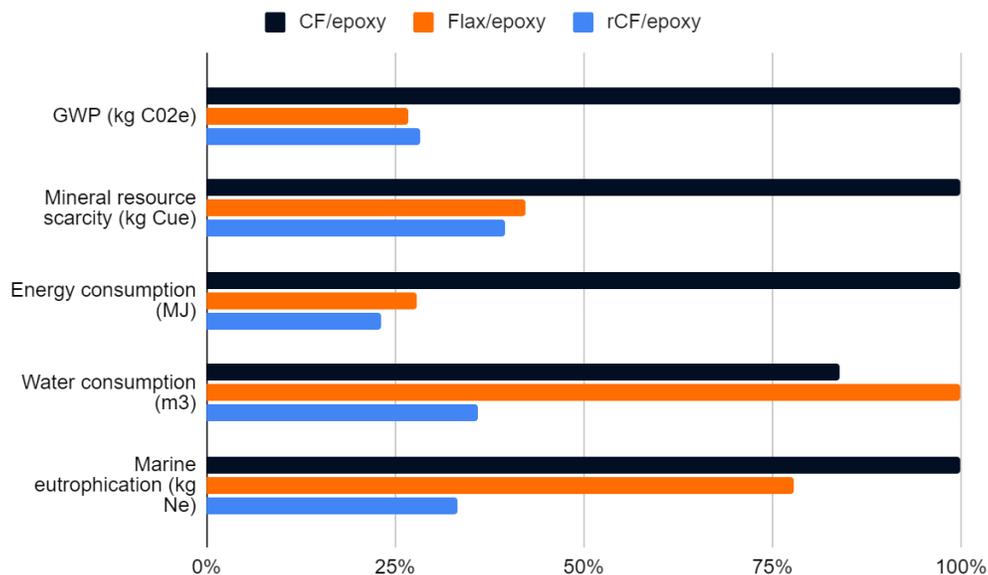
## SCÉNARIO : FIBRE DE CARBONE VIERGE VS. FIBRE DE CARBONE RECYCLÉ

Pour comparer le potentiel de réchauffement global des fibres composites, il est important de noter que le graphique ci-dessous est basé sur le poids et non sur une force comparable.

Les résultats présentés ci-dessous ont été calculés pour le scénario de base, la seule différence étant le processus d'infusion.

**Tableau : Comparaison de trois fibres différentes utilisées pour construire un composite de 10m<sup>2</sup>, Calculé avec le logiciel MarineShift360 beta au 1er octobre 2021**

	GWP (kg CO2e)	Mineral resource scarcity (kg Cue)	Energy consumption (MJ)	Water consumption (m <sup>3</sup> )	Marine eutrophication (kg Ne)
CF/epoxy	1,252	1.82	30,214	10.77	0.18
Flax/epoxy	336	0.77	8,400	12.84	0.14
rCF/epoxy	354	0.72	7,007	4.62	0.06



**Graphique : Impacts environnementaux de trois fibres distinctes employées pour construire un composite de 10m<sup>2</sup>**

### Observations :

Les répercussions environnementales nettement plus importantes de la fibre de carbone vierge comparées à celles de la fibre de carbone recyclée et du lin (Flax) sont dues aux besoins énergétiques élevés pour transformer le polyacrylonitrile (PAN) en fibre de carbone. Dans le cas du lin, le seul impact environnemental supérieur est la consommation d'eau (12,84 m<sup>3</sup>), qui est principalement liée à la culture de ce matériau biologique.

## **DISCUSSION**

Ces analyses donnent une base de compréhension de l'impact du choix des matériaux, sans tenir compte néanmoins de la performance structurelle, sauf indication contraire.

L'autre limite fondamentale de cette étude réside dans la question de l'échelle, de l'utilisation de l'énergie, des consommables et de la main-d'œuvre, qui seront certainement moindres dans le cadre de la fabrication de composants plus grands et à l'échelle d'une coque ou d'une structure de pont complète.

En tenant compte de ces limites, il est néanmoins possible de tirer quelques premières conclusions et de mieux appréhender les pistes d'amélioration liées au choix des matériaux composites et des procédés.

L'évaluation des matériaux sans tenir compte du processus de fabrication et des exigences structurelles des composants finaux est très limitée et ne constitue au mieux qu'un guide pour affiner les analyses du cycle de vie. D'autres études spécifiques des composants sont nécessaires.

# RÉSULTATS FINAUX

À travers ce rapport, l'équipe a étudié le processus de trois années visant à préparer et à mettre en œuvre la conception et la construction d'un IMOCA compétitif capable de gagner The Ocean Race. L'équipe y a présenté les défis que cela représente, les actions entreprises par le groupe d'études et de construction, et les impacts associés à ce processus.

Voici les principales observations et apprentissages de l'équipe.

## COMPARAISONS AVEC LE RAPPORT KAIROS 2010

L'équipe a utilisé le rapport Kairos 2010 comme base de référence pour identifier les premiers axes de recherche, et comme référence pour les améliorations possibles du processus de construction.

La comparaison des résultats entre les deux rapports nécessite de noter les similitudes et les limites d'une telle comparaison.

### Les équipes

Les deux rapports se concentrent sur la construction d'un IMOCA conçu pour la course autour du monde, sur une période similaire, cependant le rapport Kairos inclut une phase d'utilisation correspondant aux opérations de l'équipe participant au Vendée Globe, une campagne de trois ans. Les comparaisons en ont tenu compte en extrayant la phase d'utilisation.

### Les moules

Les deux rapports ont pris en compte les moules de la coque et du pont, et du fait que les deux équipes ont transmis les moules à une autre équipe en vue de les réutiliser. Cependant, la méthode d'attribution de l'impact du moule a été abordée différemment par chaque équipe :

- Kairos a partagé l'impact des moules, en attribuant seulement 50 % de l'impact à l'analyse du cycle de vie totale (300 tCO<sub>2e</sub>).
- l'équipe 11th Hour Racing a alloué 100% de l'impact des moules (171 tCO<sub>2e</sub>) au calcul total des émissions de gaz à effet de serre (**553 tCO<sub>2e</sub><sup>19</sup>**) et a compté le moule transmis à une autre équipe comme ayant un impact nul<sup>20</sup>.

Si l'on ajoute 12,5 % (40 tonnes métriques) pour inclure les 50 % restants du moule, une évaluation ajustée de Kairos d'un IMOCA construit en 2010 est estimée à **343 tCO<sub>2e</sub>**.

### Base de données

Bien que seul 11th Hour Racing Team ait utilisé le logiciel MarineShift360, les données utilisées par les deux études proviennent de la base de données Ecoinvent, à dix ans d'intervalle. Certains facteurs auront changé en raison de l'amélioration des données ou des méthodes d'évaluation de l'impact pour traiter les données. Ne disposant ni d'une comparaison plus détaillée de ces changements, ni d'un nouveau calcul de l'une des études, l'équipe a retenu un facteur d'erreur de +/- 10%.

---

<sup>19</sup> Calculé à l'aide du logiciel MarineShift360 beta, 1er octobre 2021.

<sup>20</sup> Cela correspond à la méthode d'attribution de l'analyse du cycle de vie, selon laquelle le propriétaire/fabricant initial est responsable à 100 % des impacts, tandis que la réutilisation a une empreinte nulle.

## Électricité

Un des facteurs qui a évolué au fil du temps est le fait que les émissions de gaz à effet de serre associées à l'électricité ont considérablement diminué. Si l'on prend l'exemple du Royaume-Uni, cela représente une réduction de 50 % par kWh.

- 2010 : 0.496 kgCO<sub>2</sub>e/kWh
- 2021 : 0.212 kgCO<sub>2</sub>e/kWh

Dans la mesure où l'énergie est utilisée pour transformer les matières premières, tout au long de la chaîne d'approvisionnement et dans le processus de conception et de construction, les impacts en 2021 sont inférieurs à ceux de 2010.

## Inventaire

Lorsque l'on compare les deux études, l'inventaire constitue la différence la plus significative. Les processus de construction, les matériaux et les composants ont changé au cours des dix dernières années.

Les IMOCA de 2021 ont remplacé les dérives relativement simples par des foils complexes, les foils représentant aujourd'hui +/- 100 tCO<sub>2</sub>e (20% au total).

Le processus global de conception et de construction a abouti à la création d'un pont, d'une coque, d'un moule et de composants plus complexes, ce qui a eu un impact sur le choix des matériaux, sur l'énergie utilisée et le temps de construction qui a plus que doublé :

2010 : 20,000 heures-homme

2021 : 40-45,000 heures-homme.

Ce sont précisément ces derniers points qui ont permis à l'équipe de déceler les principales raisons d'une telle augmentation des émissions de gaz à effet de serre associées à la construction d'un IMOCA, et l'une des raisons premières de cette comparaison.

## Résumé

Les limites de la comparaison des deux rapports et de systèmes différents ne dévaluent pas l'importance de cette opportunité - disposer de deux études ACV réalisées par des équipes similaires à dix ans d'intervalle. Les conclusions établies en tenant compte du contexte peuvent donc fournir des informations précieuses.

En ce qui concerne la pertinence du rapport Kairos 2010, non seulement ses recommandations et ses pistes d'amélioration sont encore utiles aujourd'hui, mais le plus important est peut-être que le rapport Kairos 2010 établit le premier point de référence pour les objectifs net zéro de la Classe IMOCA, qui sont analysés dans le chapitre suivant.

## AMÉLIORATIONS

The Kairos report identified a core list of well researched improvements that combined would provide **20% reduction** in greenhouse gas emissions over the period of a Vendée Globe campaign over three years. The report also provided a long term assessment beyond three years suggesting a potential **long-term reduction of 40%** greenhouse gas emissions. We have seen that while some of these recommendations have indeed been implemented by IMOCA Class and teams the net result is still a doubling of greenhouse gas emissions from 2010 to 2021.

Le rapport Kairos a identifié une liste d'améliorations possibles, bien documentées qui, combinées, permettraient de **réduire de 20 %** les émissions de gaz à effet de serre pendant la durée d'une campagne Vendée Globe sur trois ans. Le rapport a également fourni une évaluation sur le long terme, au-delà de trois ans, qui suggère une **réduction potentielle sur le long terme de 40%** des émissions de gaz à effet de serre. Nous avons constaté que si certaines de ces recommandations ont effectivement été mises en œuvre par la Classe IMOCA et les équipes, le résultat net reste une multiplication par deux des émissions de gaz à effet de serre entre 2010 et 2021.

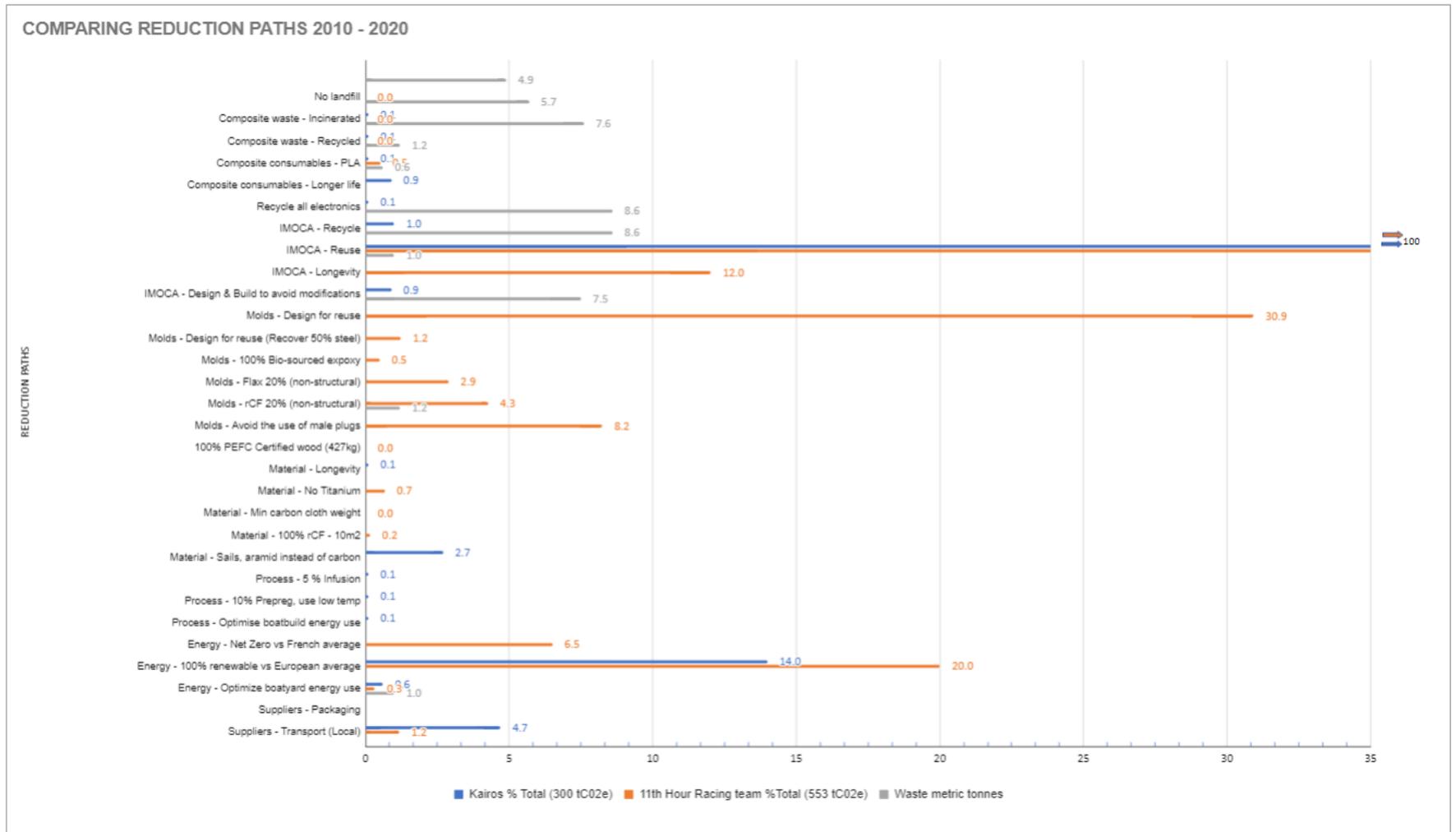
La conception et la réalisation de la version 11.2 étant maintenant terminées, nous avons combiné nos propres apprentissages et recommandations avec les principales pistes d'amélioration du rapport Kairos pour proposer une version actualisée.

Cela comprend :

- Une liste complète de recommandations, tant quantitatives que qualitatives, est présentée dans les pages suivantes.
- Une liste succincte des pistes d'amélioration pouvant être quantifiées en termes de réductions par tCO<sub>2</sub>e ou de tonnes de déchets, est proposée dans le graphique suivant.
- Un tableau décrivant quatre scénarios possibles pour les [Constructions futures et la Classe IMOCA](#).
- [La voie vers le Net Zéro](#)

Il convient de noter que s'il est tentant de se concentrer sur les réductions mesurables décrites dans le graphique, beaucoup s'appuient sur des recommandations souvent plus importantes et prioritaires et de nature plus qualitative. Par exemple, l'importance d'établir des politiques durables et des règles de classe, sur lesquelles reposent des actions plus mesurables.

# PISTES D'AMÉLIORATION QUANTITATIVES



**Graphique : Comparaison des pistes d'amélioration 2010 - 2021**  
[Télécharger le document - Pistes d'amélioration pour l'agrandir](#)

Tableau : Comparaison des pistes d'amélioration futures, calculées à l'aide du logiciel MarineShift360 beta Octobre 2021

CHOIX DES CONSTRUCTIONS FUTURES ET DE LA CLASSE IMOCA ET OBJECTIFS NET ZÉRO		FAISABILITÉ	DESCRIPTION				
		FACILE	Pas de barrières				
		BONNE	Nécessite une planification minimale				
		POSSIBLE	Techniquement possible, certains obstacles à lever				
IMPROVEMENT TRACKS		FAISABILITÉ	RÉDUCTION tCO2E	NOUVELLE CONSTRUCTION	NOUVELLE CONSTRUCTION MOULE RÉUTILISÉ	RÉUTILISATION DU BATEAU	RÈGLES CLASSE IMOCA
ÉQUIPES	100% de fournisseurs locaux, pas de transport international ou de transport aérien	FACILE	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Réutilisation des moules (une fois)	FACILE	171	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Réutilisation des bateaux	FACILE	553	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SUPPLIERS	Réduire les emballages grâce à la logistique de retour	BONNE	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Améliorer l'isolation de la structure principale de construction	BONNE	1,8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Fournisseur d'énergie renouvelable Net Zéro (chantier naval uniquement)	BONNE	36	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IMOCA	Définir un poids minimum de textile (300 gsqm)	BONNE	0,046	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Interdire les mannequins (moule femelle uniquement)	BONNE	45,6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Remplacer tout le titane par de l'acier inoxydable	BONNE	3,7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Moules - Intégrer la Fcr (+/- 20%)	POSSIBLE	23,6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Moules - Intégrer la fibre de lin (+/-20%)	POSSIBLE	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ALL	Moules - Remplacer toutes les résines époxy par de la biorésine	BONNE	2,7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Utilisation de bois certifié PEFC seulement	FACILE	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Construire en anticipant la réutilisation et la longévité (structure métallique des moules)	BONNE	6,8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Collecte et mutualisation des films protecteurs des pré-imprégnés pour le recyclage	FACILE	2,9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Conception et construction pour quatre courses au large	BONNE	66,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			tCO2e	<b>80</b>	<b>219</b>	<b>553</b>	<b>152</b>
TOTAL : Calculé avec MarineShift360 logiciel bêta le 1er octobre 2021		% TOTAL DE LA CONSTRUCTION		<b>14%</b>	<b>40%</b>	<b>100%</b>	<b>27%</b>

## RECOMMANDATIONS

Voici les recommandations émises par l'équipe tout au long de ce rapport :

1. Benchmarks & Normes
  - a. S'aligner sur les réglementations, les règles et les directives existantes permet aux parties prenantes de mettre en avant les meilleures pratiques et de promouvoir de nouvelles mesures audacieuses autant que les politiques qui les encouragent.
  - b. En étant proactive, l'industrie maritime peut donner une orientation et rester à la pointe des nouvelles exigences en matière de politique.
  - c. Le fait de se tourner vers d'autres secteurs industriels afin de découvrir d'autres exemples d'approches législatives en matière d'innovation et de progrès facilitera et accélèrera les progrès.
2. Planification & Coordination
  - a. La création d'un bureau d'étude dès le début du processus permet d'utiliser au mieux les ressources et le temps disponibles.
  - b. Le fait de placer clairement la durabilité à l'ordre du jour et ce dès le départ permet aux parties prenantes d'y accorder l'importance et les ressources nécessaires et de fixer des priorités en conséquence.
  - c. La définition d'un ensemble d'objectifs de développement durable permet d'établir un but commun, une nouvelle façon d'envisager la réussite et une source de motivation allant au-delà du statu quo "business as usual".
3. Chaîne d'approvisionnement
  - a. En tant que client/consommateur, l'influence la plus importante que l'on puisse avoir est d'appliquer l'approvisionnement durable à la chaîne d'approvisionnement, de définir un protocole permettant d'impliquer vos prestataires et partenaires.
  - b. Intégrer le processus d'approvisionnement durable dans le système d'approvisionnement et de comptabilité de l'organisation.
  - c. Chaque échange est unique et les solutions aux problèmes que vous rencontrez existent probablement au sein d'autres organisations.
  - d. Examiner comment il est possible de collaborer avec des fournisseurs motivés afin d'explorer plus en profondeur leur propre chaîne d'approvisionnement, l'objectif ultime étant d'être transparent de la matière première au produit final.
4. Audit environnemental
  - a. L'intégration de la durabilité dans les accords contractuels et les systèmes de reporting permet de mettre en évidence les perspectives de valeur ajoutée plutôt que les contraintes onéreuses.
  - b. Admettre qu'il y a des défis et des obstacles ; ce sont des occasions de créer un véritable changement.
  - c. Tout processus nécessite de l'énergie, c'est le point de départ d'une fabrication durable. Demander aux constructeurs et fournisseurs de passer à un tarif d'énergie 100% renouvelable constitue souvent un gain important dès le départ.
  - d. Examiner comment la responsabilité des impacts environnementaux est attribuée, par exemple :
    - i. Systèmes de gestion des matériaux.
    - ii. Responsabilité élargie du fabricant.

- iii. Gestion des déchets.
      - iv. Analyse du cycle de vie.
    - e. Les améliorations de l'infrastructure et des systèmes permettent non seulement de réduire directement l'impact du commanditaire et du projet, mais peuvent également être envisagées :
      - i. Au prisme de la compensation<sup>21</sup>.
      - ii. Comme un héritage positif net au profit des autres.
5. Énergie
- a. Faire de l'énergie renouvelable un point clé de discussion dans l'ensemble de la chaîne et des contrats d'approvisionnement.  
Veiller à ce que les besoins en énergie de la production proviennent à 100 % de tarifs d'énergie renouvelable.
6. Digital
- a. Utiliser des services de conception et d'hébergement de sites web écologiques.
  - b. Trouver des services numériques alimentés à partir de contrats basés sur des énergies renouvelables, permettant de réduire considérablement l'impact (dans certains cas, d'un facteur dix ou plus).
  - c. Utiliser la compression des données lorsque cela est possible, ce qui réduit la quantité de données en ligne et stockées.
  - d. Réduire au minimum le contenu et la quantité d'e-mails, et nettoyer les boîtes de réception.
  - e. Éteindre les caméras pendant les vidéoconférences, ce qui peut [réduire les impacts de 96 %](#).
  - f. Réduire les réunions en personne. [Une étude](#) explique qu'une conférence téléphonique ne produirait que 7% de l'impact d'une réunion en personne. La même étude indique que cela est le cas également pour les déplacements en voiture sur des distances inférieures à 20 km.
  - g. Choisir soigneusement le matériel de remplacement, en utilisant des normes d'approvisionnement durable.
7. Fibre Carbone
- FCr Entrante
- a. Définir l'utilisation des FCr comme une alternative obligatoire au carbone vierge dans les règles de la classe IMOCA générera de l'innovation et de la demande.
- FCr Sortante
- b. Le fait de conserver des "passeports de matériaux" en utilisant une technologie telle que le jumeau numérique est une étape importante pour conserver la valeur financière et la performance des produits recyclés. La meilleure façon de le faire serait de mettre en place une politique de classe pour les composants clés de grande valeur (tels que les foils et les mâts).
  - c. Outre la valorisation de la FCr, il s'agit de centraliser/coordonner le flux de matériaux. Une organisation ou un organe central permettrait de mettre en

---

<sup>21</sup> Faisant suite aux meilleurs efforts pour optimiser et réduire les impacts climatiques négatifs associés aux activités d'une organisation, la compensation carbone est un investissement de l'organisation dans des projets de réduction des émissions au sein de sa chaîne de valeur. Contrairement à la réduction des émissions dans des projets externes de protection du climat (projets de compensation carbone), les fonds destinés à la protection du climat restent dans le cycle de création de valeur de l'organisation.

relation les fabricants et les équipes, produisant ainsi une quantité de matériaux à une échelle pertinente pour les recycleurs régionaux/nationaux.

#### Règles de Classe

- d. Définir des normes maximales de déchets/minimales de recyclage.

#### Fibre de carbone vierge

- e. L'augmentation des émissions de GES pour les fibres de carbone à haut module peut être d'un facteur 2 ou plus. La fixation de limites d'utilisation et de type de carbone à module élevé dans les règles de la Classe peut engendrer des réductions significatives des émissions de GES.

#### 8. Matériaux alternatifs

- a. Rechercher des produits en bois certifiés PEFC ou FSC pour les bénéfices de l'approvisionnement en forêts gérées durablement.
- b. Préparer un programme d'essais de matériaux et de processus alternatifs dès le début du processus de conception et de construction afin de valider, de se familiariser et de s'assurer que les alternatives sont adaptées aux délais de construction.

#### 9. Les mannequins et les moules représentent 50% du processus de construction

- a. Éviter l'utilisation de mannequins mâles
- b. Concevoir et construire en anticipant la réutilisation future

#### 10. Une conception tenant compte de la longévité et de la fin de vie

- a. Autrement dit, la longévité, c'est-à-dire un composant qui dure deux fois plus longtemps et qui n'a pas besoin d'être remplacé, a un impact deux fois moindre.
- b. La réutilisation présente un potentiel encore plus intéressant. Selon le protocole d'analyse du cycle de vie, l'acheteur d'origine conserve la responsabilité à 100 % de l'impact d'un nouveau composant ou d'un nouveau bateau, ce qui signifie qu'un élément exempt d'impact est transmis à chaque utilisateur ultérieur.

#### 11. Gréement

- a. Le calcul du gréement courant a été effectué en utilisant des coefficients "normaux" pour le Dyneema. Des données plus récentes sont nécessaires pour intégrer les chiffres relatifs aux matériaux biosourcés et recyclés dans le MarineShift360 afin de comprendre la réduction de l'impact du choix de ces matériaux.
- b. Il convient de poursuivre les travaux visant à mettre en place une logistique à cycle inversé afin de boucler complètement le circuit de ces matériaux.

#### 12. Ressources / déchets

- a. Anticiper la fin de vie des matériaux dans le processus de conception et le système dès le début.
- b. Conserver les matériaux au sein du système aussi longtemps que possible.
- c. Générer une demande de matériaux recyclés "entrants & sortants"
- d. Utiliser la valorisation énergétique des déchets en dernier recours
- e. Appliquer une politique stricte visant à éviter la mise en décharge des déchets

#### 13. Énergie à bord

- a. Un élément important qui freine l'efficacité globale du système est le fait que le système de quille monotype imposé par la classe fonctionne à 24V. Si le système de quille était autorisé à fonctionner à 48 V, cela éliminerait la

nécessité de recourir à des convertisseurs abaisseurs et les pertes qui en résultent pour l'un des principaux consommateurs d'énergie.

#### 14. Moules

- a. Représentant 50 % d'un IMOCA tel qu'il est construit, soit 25 % de l'impact total d'un bateau mis à l'eau et prêt à naviguer, l'équipe a constaté que la construction et l'utilisation des moules constituaient un axe d'amélioration important.
- b. La suppression des mannequins mâles au cours du processus de fabrication réduirait les déchets de 3 tonnes et les émissions de gaz à effet de serre de 46 tonnes (8 % des émissions totales de gaz à effet de serre).
- c. Matériaux alternatifs : certains secteurs de l'industrie des composites utilisent déjà la fibre de carbone recyclée et/ou la fibre de lin comme alternatives à la fibre de carbone vierge des moules.
- d. La réutilisation des moules est une des manières les plus efficaces pour réduire les répercussions. Le moule du 11.2 était déjà en train d'être utilisé par une autre équipe IMOCA, avant même que le bateau 11.2 ait quitté le chantier. En réutilisant le moule de l'équipe, cette autre a réduit l'empreinte de sa construction de 171 tCO<sub>2</sub>e.
- e. Donner la priorité aux fournisseurs locaux : les incidences du transport des moules depuis l'Espagne jusqu'au site de construction en France sont examinées dans le [SCÉNARIO - TRANSPORT](#).

#### 15. Transport

- a. Un total de 7 tCO<sub>2</sub>e peut être économisé en utilisant des filières d'approvisionnement plus proches et des chantiers basés dans le même pays.
- b. Lorsque le transport sur de longues distances est nécessaire, la planification permet d'utiliser des méthodes de transport à faible impact, comme le fret maritime, dont l'impact est 100 fois inférieur à celui du fret aérien.

#### 16. Emballage

- a. Consulter l'[étude de cas - Emballage](#) pour impliquer vos fournisseurs au sujet du transport, de l'emballage, des déchets et de la fin de vie des produits.

#### 17. Politique

- a. Faire de la durabilité un critère clé dans les règles de Classe et de course et définir la façon dont les bateaux sont conçus et construits.
- b. Établir des normes minimales en matière d'approvisionnement, d'énergie, de déchets et de circularité des ressources.
- c. Définir un quota d'émissions carbone, sur la base des données de l'ACV.
- d. Inciter l'industrie maritime à mobiliser sa puissance d'innovation en faveur de la durabilité.
- e. Créer une tarification interne pour valoriser les réductions d'émissions carbone

Les [pistes d'amélioration](#), les recommandations, le Path to the Net Zéro et les scénarios de Construction Futures et de la Classe constituent ensemble une feuille de route générale claire permettant de réduire les impacts futurs des équipes et de la Classe IMOCA.

## **LA FIN DE VIE D'UN IMOCA**

L'analyse du cycle de vie a permis de décrire les impacts de la phase initiale - de la matière première à l'utilisation - c'est à dire de l'extraction des matières premières, en passant par l'étape de fabrication, jusqu'au bateau assemblé, mis à l'eau et prêt à naviguer. L'équipe 11th Hour Racing publie des rapports annuels fournissant des détails sur la phase d'utilisation de la campagne.

L'attribution de diverses options de fin de vie à un composant au cours de l'analyse du cycle de vie peut soulever divers défis et générer différents impacts selon la méthode d'attribution. L'équipe a choisi de traiter la fin de vie en dehors de l'évaluation principale du cycle de vie, afin d'éviter les différences d'interprétation potentielles avec les études passées et futures, et de permettre des comparaisons cohérentes de cette phase initiale "de la fabrication à l'utilisation".

Les options de fin de vie peuvent être classées comme suit : réutilisation, recyclage, valorisation énergétique des déchets, incinération, mise en décharge. Il est important d'éviter les impacts négatifs de la mise en décharge et de donner la priorité à la conservation des composants utilisables.

Le plan de fin de vie des ressources matérielles ou des déchets, appliqué et calculé au cours du processus d'analyse du cycle de vie, et une ventilation détaillée sont fournis dans le chapitre sur la circularité.

Le constructeur naval CDK Technologies s'aligne sur les normes [APER](#), qui confèrent aux fabricants de bateaux une responsabilité élargie de l'utilisateur au moment de la construction, et facilite le développement de réseaux pour les matériaux recyclés. L'APER insère les principes clés de l'économie circulaire à l'industrie maritime.

<b>EOL IMOCA COMPONENTS</b>			
End of life plans for IMOCA components and their respective reductions or impacts			
SUB - GROUP	Component	Short term - First cycle	
		Actual	Actual
		Planned	Planned
PLUGS AND MOULDS	HULL & DECK PLUG		<b>Partial recycle - Most to landfill</b>
	HULL MOULD	<b>Reused</b>	Recycle or waste to energy
	DECK MOULD	<b>Reused</b>	Recycle or waste to energy
	DECK MOCK UP		<b>Recycled</b>
HULL & DECK	HULL SHELL	Reuse	Recycle or waste to energy
RUDDERS	RUDDER CASE	Reuse	Recycle or waste to energy
	RUDDERS	Reuse	Recycle or waste to energy
KEEL	KEEL FIN	Reuse	Recycle
	KEEL TRAILING EDGE	Reuse	Recycle or waste to energy
	KEEL BULB	Reuse	Recycle
	KEEL BEARINGS	Reuse	Recycle
FOILS	FOIL SET	Reuse	Recycle or waste to energy
	FOIL BEARINGS	Reuse	Recycle or waste to energy
SAILS	ALL SAILS	Reuse	Waste to energy
BOOM	BOOM	Reuse	Recycle or waste to energy
	BOOM HARDWARE	Reuse	Recycle
MAST	MAST	Reuse	Waste to energy
	MAST HARDWARE	Reuse	Recycle
OUTRIGGERS	OUTRIGGERS	Reuse	Waste to energy
RUNNING RIGGING	ROPE	Reuse	Recycle
STANDING RIGGING	STANDING RIGGING		Waste to energy
	STANDING RIGGING HARDWARE		Waste to energy
SAIL TRIM DECKGEAR	FURLERS	Reuse	Recycle
	DECK GEAR	Reuse	Recycle
	WINCHES AND TRANSMISSION	Reuse	Recycle
OTHER DECKGEAR	STEERING SYSTEM	Reuse	Recycle
	LIFE LINES AND PULPIT	Reuse	Recycle
NAVIGATION	INSTRUMENTATION	Reuse	Recycle
POWER	BATTERIES	Reuse	Recycle
	CABLES	Reuse	Recycle
	ELECTRIC MOTORS	Reuse	Recycle
DECK HYDRAULICS	DECK HYDRAULIC SYSTEM	Reuse	Recycle
KEEL HYDRAULICS	KEEL HYDRAULIC SYSTEM	Reuse	Recycle
PROPULSION	ENGINE, DRIVE SHAFT AND PROP	Reuse	Recycle

**Tableau : Plans de fin de vie de l'IMOCA 11.2 et de ses composants**

# CAMPAGNE IMOCA POUR THE OCEAN RACE

Les trois dernières éditions de The Ocean Race ont été strictement monotypes. Le fait que les équipes n'aient plus besoin de faire de la recherche et du développement sur mesure a permis de réduire considérablement les dépenses, de réutiliser les bateaux et les équipements et de réduire l'impact sur l'environnement, comme jamais auparavant dans l'histoire de The Ocean Race.

L'arrivée de la classe IMOCA sur The Ocean Race a remis l'accent sur l'innovation et le développement, et ce rapport quantifie certains des impacts directs que cela a eu au sein des équipes.

Il convient de noter que si un IMOCA construit spécifiquement pour The Ocean Race est assurément plus exigeant en termes de conception et de développement pour s'adapter au format de navigation en équipage complet, cela permet aussi aux classes de faire des économies en combinant plusieurs événements, que de nouveaux bateaux soient construits ou non.

Le tableau suivant montre l'empreinte opérationnelle annuelle de la campagne IMOCA de 11th Hour Racing Team pour The Ocean Race.

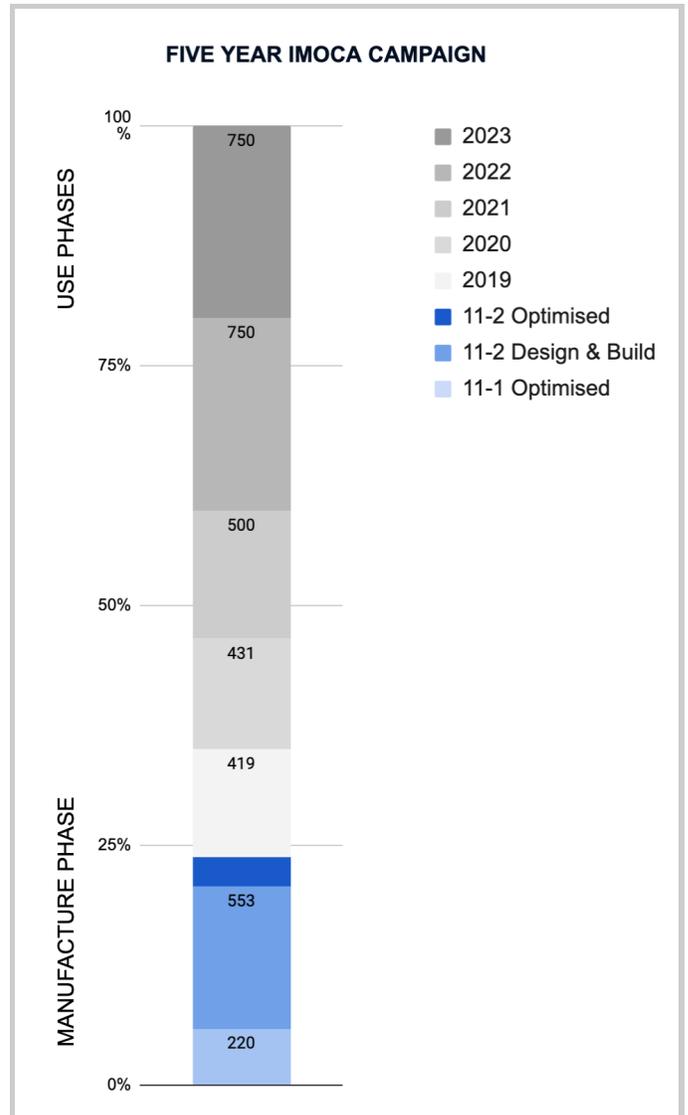
**Tableau : Émissions de gaz à effet de serre de la campagne complète  
Calculées à l'aide du logiciel MarineShift360 beta, 1er octobre 2021**

Conception & Construction	11.1 Optimisé	11.2 Mis à l'eau et prêt à naviguer		11.2 Optimisé pour The Ocean Race		
		2019	2020	2021	2022	2023
<b>Inventaire</b>	Ex-Hugo Boss plus 4 foils (1 jeu plus 2 autres) 1 jeu de voiles + 3 1 jeu de gréement	Mis à l'eau et prêt à naviguer avec inventaire de la classe IMOCA 1 jeu de foils 1 jeu de voiles 1 jeu de gréement		1 safran de rechange 1 jeu de foils 1 jeu de voiles 1 jeu de gréement		
<b>tCO2e</b>	220	553		116		
<b>Opérations</b>						
<b>tCO2e</b>	419	431	500 +/-	750 +/-	750 +/-	

Le temps et une bonne planification permettent à une équipe de maximiser les possibilités de développement technique et de tester les composants qui peuvent avoir un impact important sur les performances, par exemple les voiles et les foils. En définitive, une activité et des investissements plus importants se traduisent généralement par un impact plus important.

Bien que ce rapport se concentre sur la conception et la construction d'un IMOCA, il est important de noter que même en prenant en compte le développement de 11.1, la construction de 11.2 et l'optimisation pour The Ocean Race, cela ne représente qu'environ 25% des émissions totales de gaz à effet de serre de la campagne complète de cinq ans. La majorité des impacts d'un bateau se produit pendant la phase d'utilisation, ce qui inclut toutes les activités de l'équipe 11th Hour Racing Team. Ceci souligne l'importance de formuler des recommandations pour des événements durables, des règles de course et pour les opérations de l'équipe.

L'impact des opérations de 11th Hour Racing Team est décrit dans les rapports annuels sur le développement durable qui décrivent l'importance des efforts déployés, tout en détaillant le soutien des partenaires et des événements pour aborder ces enjeux.



**Graphique : Répartition des émissions de gaz à effet de serre de la campagne par année et par phase de construction**  
*Calculé à l'aide du logiciel MarineShift360 beta - 1er octobre 2021*

# REMERCIEMENTS

L'équipe 11th Hour Racing Team tient à remercier le groupe d'études, les travailleurs du chantier et plus de 50 de nos fournisseurs, ainsi que notre propre équipe interne, pour avoir exploré ensemble et de manière aussi approfondie les différentes manières d'intégrer la durabilité au sein de l'industrie de la voile de compétition aujourd'hui. Collectivement, nous sommes conscients de la nécessité d'un changement de direction immédiat, soutenu par des politiques fortes, qui mettront en œuvre des solutions multiples à grande échelle.

"Ce n'est qu'en travaillant ensemble que tout cela a été possible."

**Mark Towill, de l'équipe 11<sup>th</sup> Hour Racing Team, Concarneau 2021**

Photos d'Amory Ross / 11th Hour Racing Team, sauf mention contraire.

# RESSOURCES

## Rédigées par :

Amy Munro, Chargée de la durabilité, 11th Hour Racing Team

Damian Foxall, Responsable du programme de durabilité, 11th Hour Racing Team.

Étienne Le Pen, Stagiaire - étudiant en Master d'analyse du cycle de vie.

## Avec la participation de :

CDK Technologies, Guillaume Verdier Design, MerConcept, Kairos Biocomposites, IMOCA, North Sails, Karver, Avel Robotics, Southern Spars, AMPM, Guelt, C3, Karver, Persico, Greenboats, Harken, Navico, Diverse, Gurit.

## Révisées par :

Craig Simmons - Directeur de la technologie et des métriques chez Anthesis

Michel Marie - Consultant technique pour MarineShift360

Jill Savery - Directrice du développement durable chez 11th Hour Racing

# ANNEXES

## RÉVISION

À propos des réviseurs

Craig Simmons est le directeur de la technologie et de la métrique chez Anthesis. Il a été étroitement impliqué dans le développement de MarineShift360 en travaillant avec des partenaires pilotes afin de comprendre leurs besoins en matière d'évaluation du cycle de vie. Il a plus de 25 ans d'expérience dans l'évaluation du cycle de vie, la comptabilité des flux de matières, l'empreinte écologique et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. Il a précédemment travaillé sur la stratégie carbone de la Coupe de l'America.

Michel Marie est un conseiller technique avec plus de 30 ans d'expérience dans la fabrication de composites. En tant que conseiller technique en analyse du cycle de vie et consultant en base de données, il a participé au développement de MarineShift360 depuis sa création en 2016. Au cours des dix dernières années, parallèlement à son investissement dans le contexte de haute performance de la Coupe de l'America, il a développé un intérêt pour les questions de durabilité soulevées par la fabrication de composants en composites.

## RÉFÉRENCES

### 11TH HOUR RACING TEAM

["Design and Build" Presentation](#)  
[Sustainable design and build report - English](#)  
[Sustainable design and build report - French](#)  
[Study - Digital footprint of an IMOCA](#)  
[Worksheet - Life cycle inventory](#)  
[Worksheet - GHG processing](#)  
[Worksheet - Manufacturing waste analysis](#)  
[Worksheet - Improvement paths](#)  
[Worksheet - 11.2 LCA 2 results](#)  
[Worksheet - End of Life](#)  
[State of the art](#) (Rapport Kairos sur les bio-composites)  
[Pathway to Net Zero](#)  
[Internal price of carbon](#)  
[Annual sustainability report 2019](#)  
[Annual sustainability report 2020](#)  
[Vestas 11th Hour Racing sustainability report](#) (2017-18)

[Analyse de scénario - Moules](#)  
[Analyse de scénario - Foils](#)  
[Analyse de scénario - Énergie](#)  
[Analyse de scénario - Métaux](#)  
[Analyse de scénario - Transport](#)  
[Analyse de scénarios - Composite 10m2](#)

### AUTRES

- Rapport Kairos 2010 ACV d'un IMOCA
- [Roadmap for the decarbonization of the European maritime leisure craft sector](#)
- Lifecycle impact assessment of different manufacturing technologies for automotive CFRP components, Journal of Cleaner Production (2020)
- [The Ocean Race - Sustainable boatbuilding report](#)
- [Earth Overshoot](#)

## LISTE DES PARTIES PRENANTES

Prestataires	Service Composant	Approvisionnement durable	Données ACV fournies	Type de données	Qualité des données
Guillaume Verdier Design	Optimisation 11.1 Conception 11.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
CDK Technologies & sous-traitants	Construction 11.2 et Foils	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Mer Concept	Coordination de la conception & construction	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Kairos	Services spécialisés	<input checked="" type="checkbox"/>		NR	NR
Lorima	Mât & Outriggers		<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Southern Spars	Bôme	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Running rigging	Cordage Marlow	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Future Fibers	Gréement dormant			Estimée	Manquante
North sails	Analyse des voiles et des parcours de course	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle/Ext rapolée	Très bonne
AMPM	Voile de quille		<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Guelt	Buble et puit de quille, paliers de foil		<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle	Moyenne
Hydroem	Système hydraulique de quille			Manquante	Manquante
C3	Gouvernails, bord de fuite du voile de quille		<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
JP3	Palier de safrans et système de barre			Manquante	Manquante
Prot Design 3D	Paliers de quille et matériel divers			Manquante	Manquante
Caraboni	Système hydraulique	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle/Ext rapolée	Très bonne
Persico	Foils 11.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Greenboats	Panneaux de ponts	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Complète	Très bonne
Harken	Équipements & hardware	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle/Ext rapolée	Très bonne
Karver	Enrouleur	<input checked="" type="checkbox"/>		Estimée	Basse
Nanni Diesel	Moteur			Estimée	Bonne
Diverse	Système électronique et installations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle	Moyenne

Navico	Instruments	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Partielle/Ext rapolée	Très bonne
Pixel sur mer	Système à fibre optique	<input checked="" type="checkbox"/>		Estimée	Basse
NDT	Nautiscan			NR	NR
The Ocean Race	Ocean Pack	<input checked="" type="checkbox"/>		NR	NR
Blackfibre	Peinture du bateau			Manquante	Manquante
Pesch Alu	Ber et conteneurs			NR	NR
Mast trolleys	Celtinox			NR	NR
Gen2	Recyclage du carbone	<input checked="" type="checkbox"/>		NR	NR
IMOCA	Classe IMOCA	<input checked="" type="checkbox"/>		NR	NR
MarineShift360	Outil ACV	<input checked="" type="checkbox"/>		NR	NR



**11TH HOUR RACING TEAM**  
RAPPORT CONCEPTION ET  
CONSTRUCTION DURABLES  
*VERS L'OBJECTIF  
NET ZÉRO*

**#OCEAN  
HOUR**

**#OCEAN  
HOUR**

8

7

6

5

# VERS L'OBJECTIF NET ZÉRO

**Damian Foxall, responsable du programme de durabilité de l'équipe 11th Hour Racing Team, décrit cette opportunité :**



*“La voile a toujours été marquée par l'innovation et le dépassement des normes habituelles. L'accent a toujours été mis sur le développement des performances, de nouvelles technologies et de nouveaux designs. Ce qui nous permet aujourd'hui de « faire du bateau volant » surpassant de loin ce dont Archimède aurait pu rêver.*

*Ce que nous devons faire maintenant, c'est prendre une partie de cette incroyable capacité d'innovation dont nous disposons, et la consacrer à rendre notre industrie plus durable. Les connaissances, le matériel et les ressources existent, tout ce qu'il faut, c'est que nous prenions nos responsabilités et que nous fassions les bons choix, dès maintenant.”*

## QU'EST-CE QUE NET ZÉRO ?

L'accord de Paris souligne la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 45 % d'ici à 2030 et de parvenir à un niveau Net Zéro d'ici à 2050.

Net Zéro est l'équilibre atteint lorsque les émissions anthropiques<sup>22</sup> de gaz à effet de serre n'émettent pas plus que ce que nous absorbons de l'atmosphère.

Au sens large, il est crucial de mieux comprendre l'ensemble de nos impacts. Les autres ressources naturelles, telles que l'eau, la terre et l'énergie, requièrent toutes au moins une approche Net Zéro.

Au sein de l'équipe 11th Hour Racing Team, nous pensons qu'en réalité, compte tenu de l'état de dégradation des ressources de la planète, les impacts doivent être envisagés sous l'angle du « Net Positif » : comment notre présence peut-elle contribuer à laisser les choses en meilleur état que nous les avons trouvées ?

Ce n'est que par cette approche que nous pouvons espérer parvenir aux valeurs sociales auxquelles nous aspirons dans le monde entier, et installer des économies saines et équitables capables de les soutenir.

---

<sup>22</sup> Anthropique - Causé ou produit par l'homme

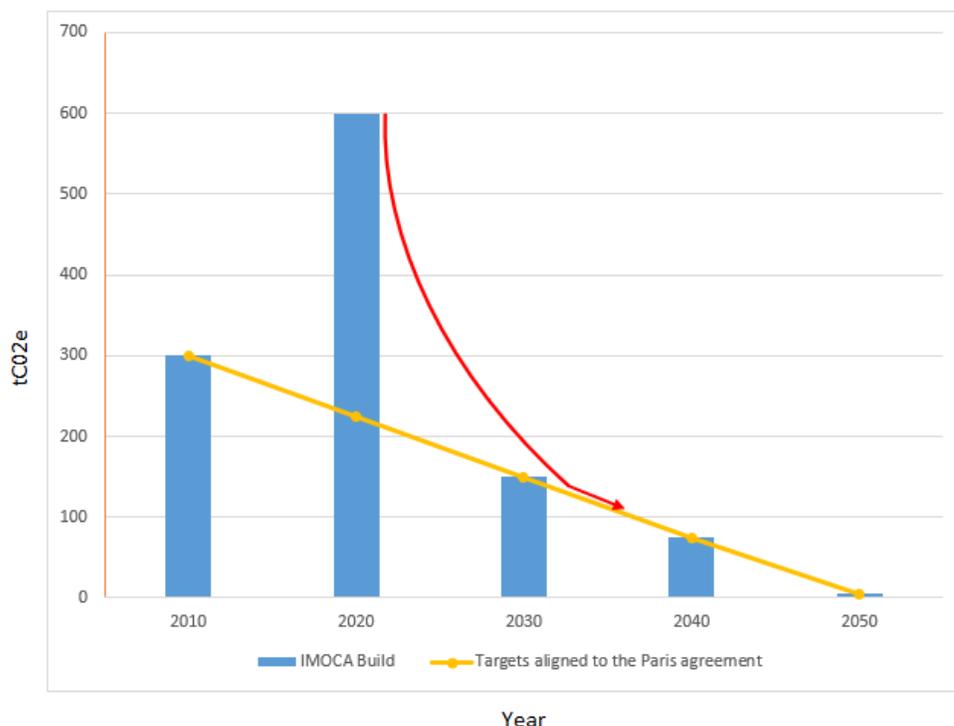
## DES OBJECTIFS FONDÉS SUR LA SCIENCE

Au cours des dix dernières années, la classe IMOCA a fait des progrès impressionnants en matière de performances. Cependant, le statu quo de cette "course aux armements" a eu un effet secondaire important : depuis 2010, l'impact environnemental de la construction d'un IMOCA a presque doublé, passant de 343 tCO<sub>2</sub>e à +/- 553 tCO<sub>2</sub>e (tonnes d'équivalent dioxyde de carbone).

Si l'on prend le rapport Kairos de 2010 comme année de référence aux objectifs de l'Accord de Paris, appliqué sur la même période, la Classe devrait s'efforcer à réduire son impact de **45 % d'ici 2030, soit 190 tCO<sub>2</sub>e**.

### TARGETS BASED ON SCIENCE

The footprint of an IMOCA build  
Aligned to the Paris Agreement



**Graphique : Comparaison de l'impact de deux constructions IMOCA à dix ans d'intervalle et de la voie vers le Net Zero**

La **ligne jaune** rejoint l'année de base 2010 avec l'Accord de Paris :

- **Réduction de 45% d'ici 2030 - 190 tCO<sub>2</sub>e** (réductions absolues)
- **CO<sub>2</sub>e)Net Zéro d'ici 2050<sup>23</sup> - 0 tCO<sub>2</sub>e** (réductions continues et séquestration des CO<sub>2</sub>e restants)

La **ligne rouge** représente la nouvelle trajectoire, désormais plus abrupte et plus urgente, vers cet objectif Net Zéro.

<sup>23</sup> La CCNUCC exige un taux Net Zéro d'ici 2040.

Il est intéressant de noter que les points de données 2010 et 2020 proviennent de deux équipes IMOCA ayant de sérieuses normes de durabilité et de performance. Bien que les deux équipes aient utilisé des outils d'analyse du cycle de vie différents, nous pouvons considérer qu'il s'agit de données de haute qualité et d'une représentation cohérente des points de données passés, présents et, dans la mesure du possible, futurs.

Bien que nous utilisions ici la Classe IMOCA à titre d'exemple, cette situation est représentative de l'économie au sens large, car nous avons tous accéléré rapidement dans la mauvaise direction, et nous nous réveillons seulement maintenant face à cette réalité.



"La planète est un bateau avec un équipage grandissant mais des ressources en baisse. Nous devons changer de cap avant qu'il y ait une mutinerie."

**Roland Jourdain, Skipper IMOCA - Véolia Environnement**

## LE RISQUE DE NE RIEN FAIRE

Le statu quo du « business as usual » n'est plus une option. Alors que le secteur de la voile de compétition et une grande partie de l'industrie de la voile de plaisance se concentrent géographiquement au Nord et dans quelques autres régions riches, nous vivons dans une bulle de prospérité fragile.

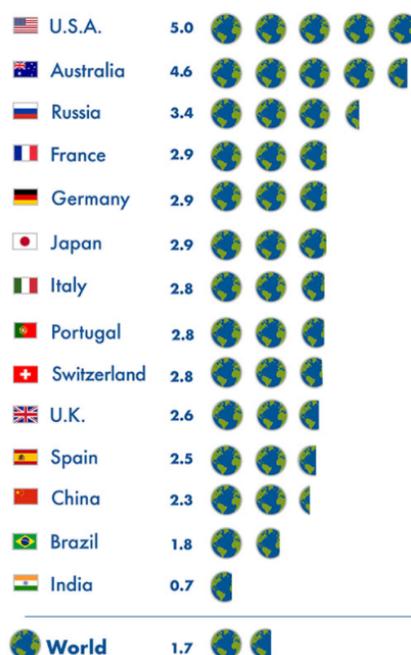
Cette bulle ne reflète ni la réalité de la plupart des citoyens du monde, ni la disponibilité des ressources de la Terre. En raison de la croissance continue des économies mondiales, nous aurions besoin de [1,7 Terres](#) par an pour qu'un citoyen mondial moyen puisse continuer de vivre ainsi. À l'échelle des modes de vie types associés à l'industrie maritime, cela représente plutôt [+5 Terres par an](#): une dette annuelle croissante

Les impacts directs de cette dette annuelle se répercutent généralement sur de nombreux pays sous-développés et environnements naturels qui fournissent la majeure partie de nos besoins en matériaux, en énergie et en approvisionnement.

À l'échelle de notre sport, le fait de reconnaître l'importance d'une participation accrue et diversifiée et d'une représentativité équilibrée entre les disciplines signifie que le sport doit croître de 100 %, ce qui implique de doubler nos besoins matériels, tout en réduisant nos impacts de 50 % d'ici 2030.

La recherche permanente de la performance à tout prix nous a conduits dans une impasse. Le défi auquel le sport est confronté est existentiel.

### How many Earths would we need if everyone lived like U.S.A. residents?



Source: National Footprint and Biocapacity Accounts 2021  
Additional countries available at [overshootday.org/how-many-earths](https://overshootday.org/how-many-earths)

## VISION

*'Believe me, my young friend, there is nothing - absolutely nothing - half so much worth doing as simply messing about in boats.'*<sup>24</sup> **Kenneth Grahame, The Wind in the Willows**

Alors que nous cherchons de l'inspiration pour l'avenir, nous pourrions commencer par nous pencher sur les origines de notre sport.

La durabilité consiste à utiliser les ressources disponibles dans un périmètre raisonnable et à être responsable des impacts liés à leur extraction.

Notre capacité d'innovation est la clé d'une solution durable et positive. Comment intégrer de nouvelles sources d'énergie renouvelable à terre et en mer, de nouveaux matériaux d'origine locale, de meilleurs processus de fabrication circulaire et des produits ayant une durée de vie plus longue. Tous ces éléments représentent des opportunités permettant de créer de nouveaux modèles économiques durables et des avantages sociétaux en faveur d'une industrie maritime saine.

Le secteur de la voile de compétition est bien placé pour à la fois tirer profit d'autres secteurs industriels plus vastes et leur fournir des services. Ainsi, l'industrie de la voile professionnelle est en mesure d'avoir un impact positif bien au-delà de son champ d'action immédiat et traditionnel.

Tout autour de nous, les gouvernements et d'autres industries font le point et mettent en œuvre de nouvelles politiques et normes de plus en plus rigoureuses. L'industrie maritime a la possibilité de rester à la pointe du progrès, mais le chemin à parcourir pour être à la hauteur des réductions dont nous avons besoin d'ici 2030 est raide. Nous avons besoin de réductions annuelles de plus de 7 %, et ce dès maintenant (2021).

La vision de l'avenir de la voile de performance et de l'industrie maritime doit incarner une toute nouvelle raison d'être et une approche Net Positive pour mieux faire dans tous les secteurs d'activité, plutôt que d'essayer d'être moins mauvais.

En adoptant une approche Net Positive, nous pouvons continuer de développer l'envergure de nos flottes, de nos événements et de notre sport, car l'augmentation de l'activité générera une valeur économique, sociale et environnementale.

---

<sup>24</sup> "Croyez-moi, mon jeune ami, il n'y a rien - absolument rien - qui vaille plus la peine que de s'amuser sur des bateaux."

## CE QUI EST NÉCESSAIRE

### RÈGLES, CHARTES & POLITIQUES

*'What are individual ethical obligations regarding unregulated externalities?*

*... Our primary ethical obligation is as a citizen to promote laws that correct the spillovers."*<sup>25</sup>

**The Spirit of Green, William D Nordhaus**

Le rapport sur la conception et la construction de l'équipe 11th Hour Racing Team a exploré les impacts et l'influence de l'équipe en tant que client du secteur maritime, des produits des fabricants tout au long de la chaîne de valeur, et des décisionnaires des Classes et des événements. La réalité des délais de construction et des objectifs de performance implique que toutes les acteurs sont bloqués dans le statu quo du « business as usual ».

Les facteurs les plus importants qui influencent les décisions d'un processus global de conception et de construction sont :

- La confiance du constructeur et du client dans les propriétés des matériaux.
- Les délais.
- Les règles de Classe et de course.

Mais ce ne sont que les règles et la politique qui permettront de mettre fin au statu quo.

Un exemple révélateur est que, malgré les efforts collectifs de toutes les personnes concernées, seuls 100 kilos du nouveau bateau 11.2, soit moins de 2 % du poids, représentent des alternatives aux matériaux composites habituels. Et cela a été rendu possible grâce à la règle IMOCA sur les matériaux alternatifs. Sans une bonne charte ou politique de Classe, même des avancées de ce type ne pourront avoir lieu.

Une fois que la politique aura fait de la durabilité un critère essentiel, l'industrie fera ce qu'elle sait faire le mieux, c'est-à-dire innover et trouver les meilleures solutions.

Notre recommandation est de fixer un quota d'émissions de carbone et de mettre en place une tarification interne encourageant les initiatives de réductions d'émissions de carbone, et de relier ainsi les budgets à une prise de décision responsable et à des performances durables.

### POLITIQUE D'ÉMISSIONS CARBONE

#### **Un quota**

Un quota d'émissions de carbone pour chaque équipe, composant, construction de bateau ou unité similaire, constitue une méthode efficace pour fixer des limites à la transformation des matières premières en bateaux finis, ainsi qu'un périmètre pour la phase d'utilisation. Sur la base de l'analyse du cycle de vie ou des données d'émissions liées à l'utilisation les plus récentes, les quotas doivent être fixés à un niveau réalisable, tout en encourageant l'innovation. Ils devraient être mis à jour périodiquement pour refléter les nouvelles innovations et les objectifs actualisés régulièrement.

---

<sup>25</sup> *"Quelles sont les obligations éthiques individuelles concernant les répercussions négatives non réglementées ? ... Notre première obligation éthique est, en tant que citoyen, de promouvoir des lois qui corrigent les dérives".*

## **Tarification interne des émissions carbone**

Il est de plus en plus reconnu que la fixation d'un prix des émissions carbone est un outil de réglementation efficace, facilitant l'atteinte des objectifs Net Zéro de réduction d'émission de gaz à effet de serre (GES) au niveau mondial, national et au niveau de l'entreprise ou de l'organisation. Voici un [modèle conceptuel](#) de ce à quoi cela pourrait ressembler dans le secteur de la voile et pour la Classe IMOCA.

En associant un quota d'émissions de carbone à un système de tarification interne des émissions de carbone, cela permet de créer un mécanisme qui encourage à considérer la réduction des émissions au cœur de la prise de décision et de l'innovation. Cela conduit le marché interne à considérer la longévité, la réutilisation et les meilleures pratiques, à la fois au sein du système et de sa chaîne d'approvisionnement externe, tout en fixant un coût aux impacts négatifs.

Le prix interne pourrait être :

- Basé sur les frais, avec des transactions financières réelles déterminées en fonction des émissions calculées, estimées ou réelles de l'activité, créant ainsi un fonds interne de réduction des émissions de carbone.
- Virtuel, sans transaction monétaire (prix fictif), mais conçu pour guider la prise de décision.

Le prix fixé doit être abordable, tout en étant suffisamment élevé pour induire les changements nécessaires. Il peut être établi en interne ou indexé sur un prix externe tel qu'un taux national du carbone ou une évaluation du coût sociétal du carbone. Le prix doit être actualisé régulièrement pour continuer à progresser sur la voie de l'objectif Net Zéro émission.

Comme le décrit Nodhaus ci-dessous, la mise en œuvre de ce mécanisme, ainsi qu'une approche solide de la réduction des impacts, aidera les organismes de la voile et l'industrie maritime à atteindre l'objectif Net zéro bien avant les objectifs de l'Accord de Paris.

*"Le pays peut avoir les meilleurs climatologues développant les projections les plus habiles du changement climatique ; il peut avoir les meilleurs spécialistes des matériaux travaillant sur des pipelines de CO2 à haut rendement ; il peut avoir les meilleurs investissements financiers. Mais si le prix du carbone est nul, alors les projets de développement de technologies à faible émission de carbone, prometteuses mais coûteuses, mourront avant d'arriver dans la salle du conseil d'administration d'une entreprise à but lucratif."*

**The Spirit of Green, William D Nordhaus**

## **FOND POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE**

Diverses sources de revenus peuvent être développées pour soutenir un fonds de développement durable de la Classe. Plutôt que de dépendre de fonds externes et de parrainages, un fonds de développement durable devrait être alimenté principalement par les parties prenantes de la Classe et de l'industrie, qui assumeront la responsabilité des coûts associés aux répercussions de leurs activités collectives.

Ceci peut être étayé par d'autres exemples tels que :

*"La réduction et la simplification des matériaux au sein même des règles permettraient de réaliser des économies intéressantes qui pourraient ensuite être réinjectées pour soutenir le développement durable de l'industrie de la Classe et de la voile". **Yannick Le Morvan, Gurit***

D'autres sources de financement existent, comme celles associées aux fonds de développement vert.

*“Pour encourager le déploiement des technologies de propulsion des bateaux de plaisance à faible émission de carbone, il est probable que des mesures fiscales ou des incitations financières seront nécessaires ..... Le Green Deal européen a débloqué des fonds importants pour le développement et la démonstration de technologies à faible/Net Zéro émission de carbone dans le secteur maritime...”*

**Feuille de route pour la Décarbonisation du secteur Européen des bateaux de plaisance, Carbon Trust<sup>26</sup>**

## RECOMMANDATIONS

- Faire de la durabilité un critère essentiel dans les règles de classe et de course pour définir la façon dont les bateaux sont conçus et construits.
- Établir des normes minimales en matière d'approvisionnement, d'énergie, de déchets et de circularité des ressources.
- Définir un quota pour les émissions de carbone sur la base des données de l'ACV.
- Inciter l'industrie maritime à utiliser sa capacité d'innovation au service d'un développement durable.
- Fixer une tarification interne pour les émissions de carbone.



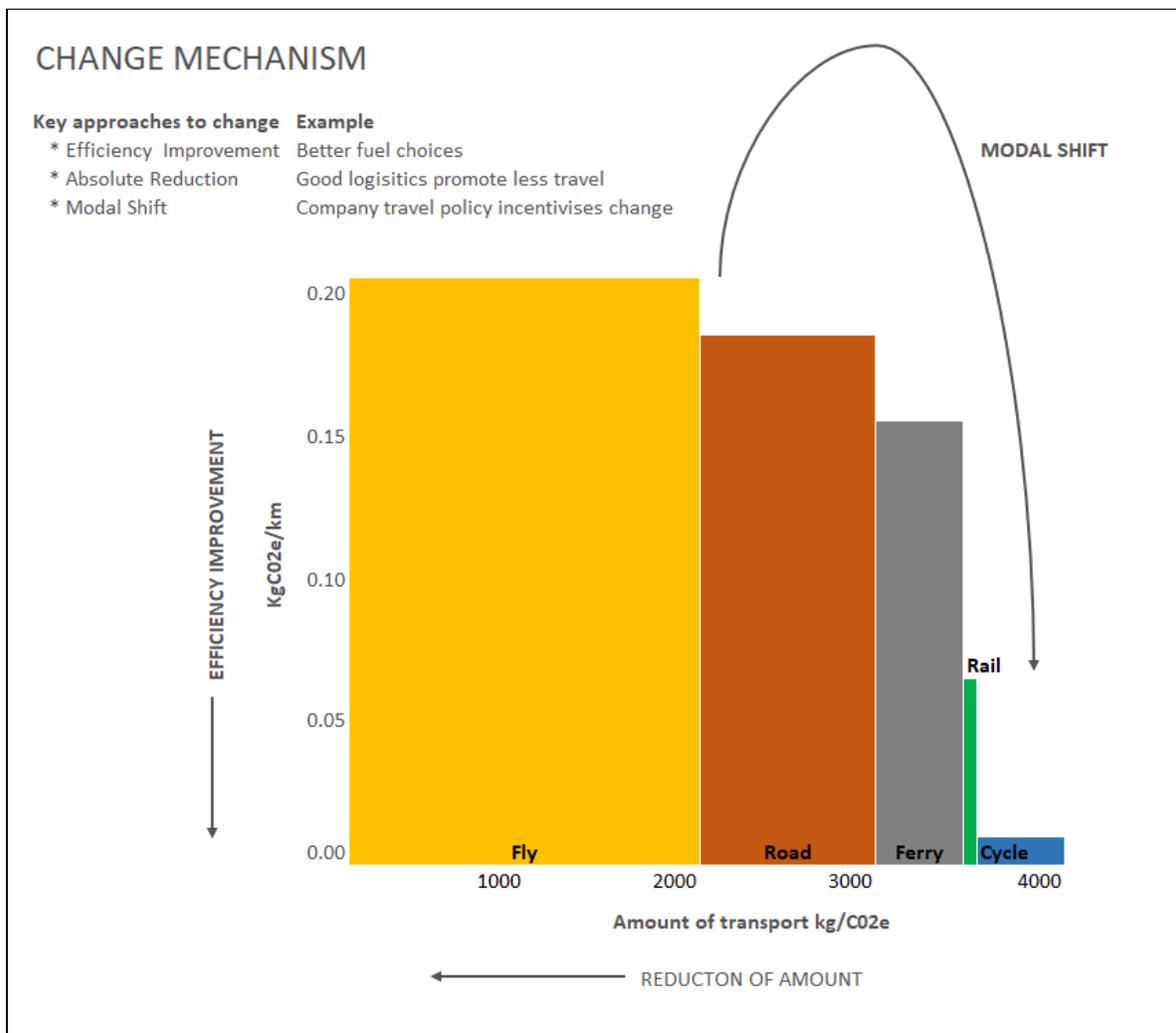
## COMMENT CHANGER : 3 APPROCHES

Les différentes approches nécessaires en matière de développement durable à l'échelle peuvent être décrites comme suit :

- Amélioration de l'efficacité
- Réduction absolue
- Transfert modal

Autrement dit : Mieux, Moins et Alternatif.

En utilisant le transport comme sujet, le graphique ci-dessous décrit ces types de changement



**Graphique : Étudier les possibilités de changement**

Si l'on se place du point de vue de l'industrie maritime, le changement dépendra d'actions diverses :

- Fabrication plus efficace en termes d'énergie et de ressources
- Sobriété en matière de choix de consommation
- Un changement systémique vers un modèle différent de construction, d'utilisation et de fin de vie.

## LA VOIE VERS LE NET ZÉRO

Adaptée du travail effectué par Kellie Covington pour The Ocean Race, cette interprétation du "[Pathway to Net Zero](#)" étend les observations de ce rapport jusqu'en 2050, décrivant une vaste stratégie en faveur d'un futur durable.

## DISSOCIER CROISSANCE ET IMPACT

La capacité d'innovation de notre sport peut fournir des solutions durables à la fois pour le secteur et pour l'industrie maritime au sens large, et une approche équilibrée doit être adoptée pour parvenir aux résultats souhaités de réduction des impacts à l'échelle mondiale. Sans une telle approche, les solutions durables ne feront que générer de nouvelles problématiques ailleurs.

Il est de plus en plus reconnu que les **réductions**, les **améliorations** et les **innovations** que nous avons mises en évidence dans ce rapport ne nous permettront que partiellement de dissocier les impacts de l'activité économique. Pour éliminer les émissions de gaz à effet de serre, nous aurons également besoin de méthodes d'action directe telles que le captage et le stockage du carbone à la source. Nous avons besoin de stratégies de compensation des impacts et de compensation du carbone pour séquestrer et neutraliser les impacts inévitables.

Plus important encore, l'économie maritime a besoin d'une nouvelle définition de la réussite, dissociant la croissance et les performances économiques des impacts environnementaux.



*"Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir,  
mais de le rendre possible."*

**Antoine de Saint Exupéry, Citadelle, 1948**

*"With regards to the future, it is not about predicting it,  
but about making it possible."*

[sustainability@1degree.us](mailto:sustainability@1degree.us)

