

Auditorium de la Cité de la Voile Eric Tabarly

16/09/2022

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA

Claire Vayer, IMOCA

Lucas Jacquet, ENS Rennes

Olivier Kerbrat, ENS Rennes

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition



Introduction

Définition des termes

« Ecopformance »

« Transition écologique »

Définitions

1. Ecoperformance des voiliers de compétition

Performance = *degré d'accomplissement des objectifs*

Performance en compétition = aller vite et gagner !

Les objectifs sont généralement technico-économiques

Eco = *Ecologique et Economique*

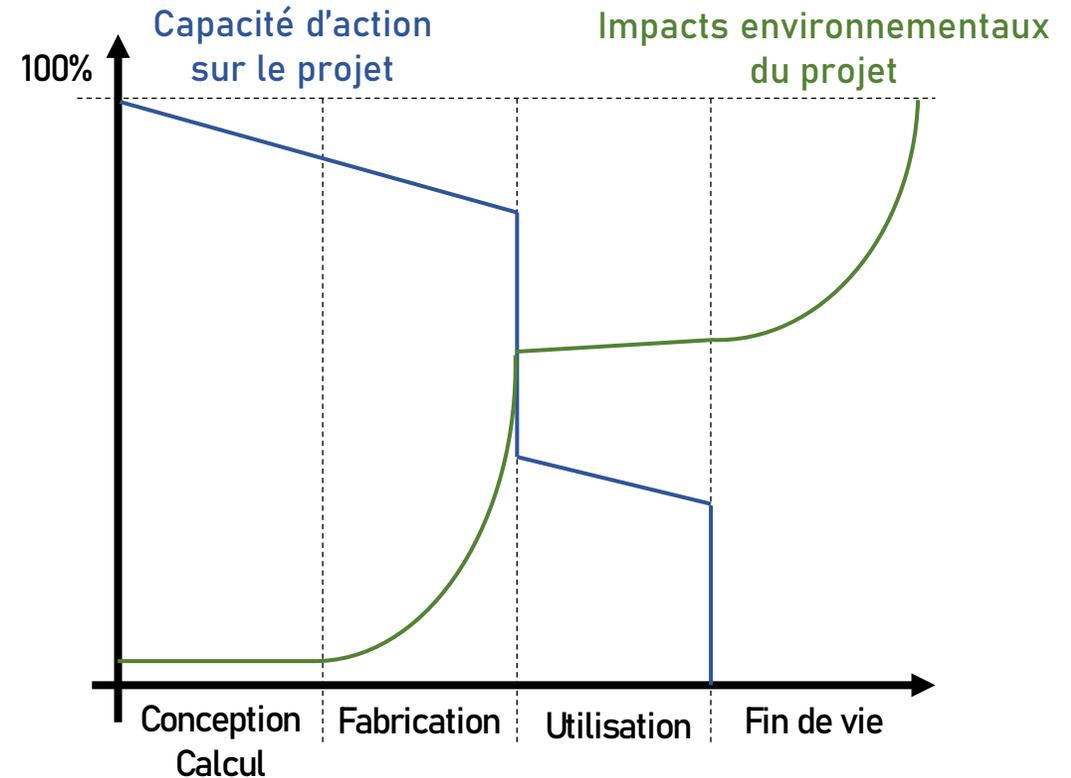
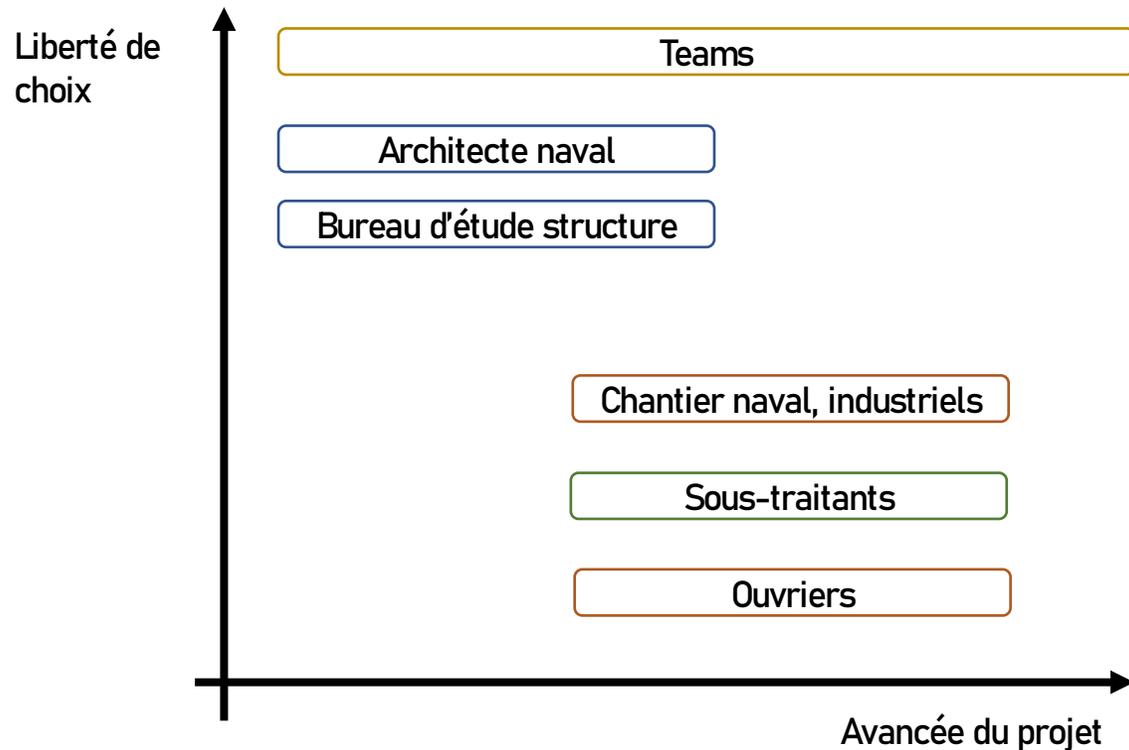
Objectifs augmentés, optimisation des performances en compétition basées sur des indicateurs technico-économico-environnementaux

Voiliers de compétition = *représentativité des entreprises de la filière partenaires du projet*

Définitions

2. Transition écologique

Intégration de l'écoperformance dans les choix



Différentes informations disponibles en fonction des acteurs et de l'avancement du projet.

Auditorium de la Cité de la Voile Eric Tabarly

16/09/2022

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA

Claire Vraye, IMOCA

Lucas Jacquet, ENS Rennes

Olivier Kerbrat, ENS Rennes

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition

IMOCA

**VERS UNE
PERFORMANCE
DURABLE**



07/04/2022



Une transition progressive

- La **Classe IMOCA** : Fondée en 1991 pour garantir la sécurité et l'équité entre les bateaux qui courent sur le championnat des Globe Series, tout en favorisant l'**innovation et la durabilité** des bateaux
- Un acteur central avec un positionnement à 360°
 - Une **transition transversale** et un **travail collaboratif**
 - Une **transition progressive**
 - Objectif commun : contribuer à une **industrie maritime plus circulaire et bas carbone**

Comptabiliser, réduire, contribuer .. pour arriver vers le Net Zero

2021 - Signature d'une **Charte des Équipes** :
7 thématiques (transport, déchets, ressources...),
des objectifs précis, des outils adaptés

2022 - Calcul d'**empreinte carbone** annuelle :
mise en place d'un outil interne adapté aux
équipes

2023 - Projet de **contribution** à notre empreinte
carbone



Des évaluations environnementales pour les nouveaux IMOCA

2020

Les membres votent la mise en place d'ACV pour les nouvelles constructions IMOCA

1 des cinq grands principes des Règles de Classe 2025

“ Les Règles de Classe IMOCA sont de type ouvert, où tout ce qui n'est pas expressément interdit, limité ou imposé, est autorisé. Ces règles sont évolutives et développées en favorisant :

- la sécurité de navigation,
- l'équité sportive,
- l'innovation technologique en matière de performance,
- le contrôle des coûts des bateaux et des projets
- le « développement durable » des bateaux et dans notre pratique sportive.”

En détails

“ CODE DE L'ENVIRONNEMENT POUR LES COURSES AU LARGE World Sailing et l'IMOCA se sont engagés à promouvoir la protection de l'environnement. **En course au large, de façon générale, on doit :**

- (...)
- **Mettre en œuvre une analyse du cycle de vie pour dresser un bilan carbone en utilisant l'outil « Marine Shift 360 » pour la construction de tout nouveau bateau. “**



Analyse du Cycle de Vie

L'ACV recense et quantifie, de la fabrication à la fin de vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines.

La comptabilité environnementale: **3 scopes d'émissions** intégrés

- 1 - Émissions directes
- 2 - Émissions indirectes liées à l'activité (énergie, eau, etc)
- 3 - Émissions indirectes aussi mais liées aux transports, extractions matières premières, etc

La nature, les quantités des **matériaux**, les **distances**, les types de transports, les méthodes de **mise en œuvre**, les outillages, les **déchets**



IMOCA

MarineShift 360



1er outil d'Analyse de Cycle de Vie adapté à la construction navale. 1 ACV complète réalisée par IITH Hour Racing en 2021.

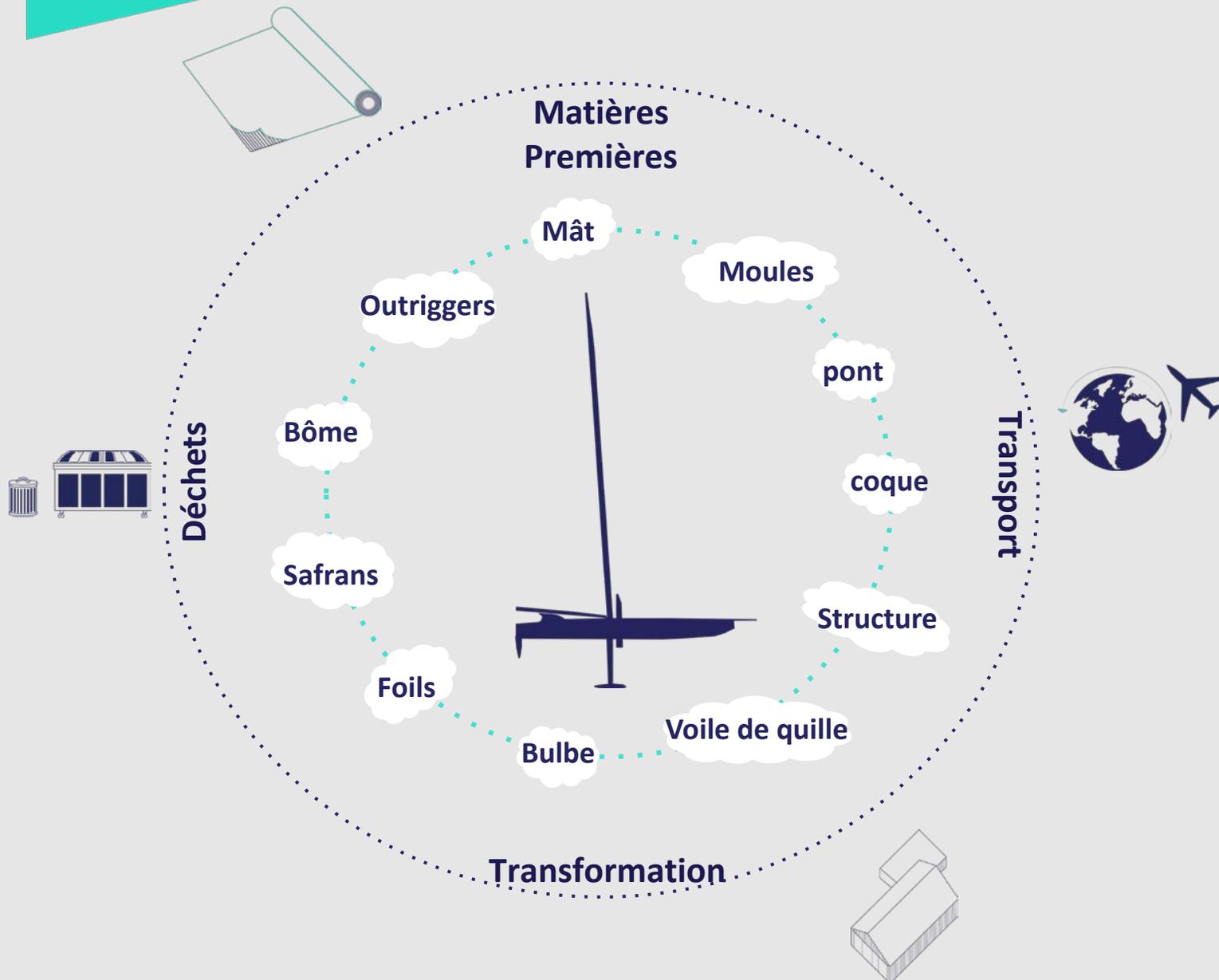
MarineShift360 est un outil d'évaluation conforme et certifié **ISO14040:2006** et **ISO14044:2006** qui tire ses sources de la base de données Ecoinvent.

Les **6 indicateurs environnementaux** de MarineShift360

- 1 - Potentiel de réchauffement planétaire (kgCO₂e)
- 2 - Épuisement des ressources non renouvelables
- 3 - Consommation d'eau
- 4 - Eutrophisation marine
- 5 - Consommation d'énergie
- 6 - Production de déchets



Cadre de l'étude menée par l'IMOCA



14 études
simultanées

102 pièces analysées

34 chantiers
impliqués

6 pays de
constructions

Les premiers enseignements

LES POSTES IMPACTANTS:

- La matière première: fabrication des **fibres de carbone**
- **Matériaux auxiliaires**
- Production de **déchets**
- Les **outillages**

Entre **60%** et **70%** des matériaux utilisés deviennent des déchets

LES ACTIONS:

Poursuivre l'élaboration de règles telles que:

- Annexe J : **matériaux alternatifs**
- Annexe N.3: **Voile verte**

204 kg de matériaux alternatifs répartis dans 5 bateaux (pièces démontables non structurelles)

LES OBJECTIFS:

- **Réduire** challenger les fournisseurs
- **Légiférer** pour inciter les chantiers
- **Innover** pour aider la transition:
Suivre les projets novateurs tels que Eco-Sailing Desing

- **Systematiser** les démarches d'ACV
- Intégrer les progrès dans les **RDC IMOCA 2028**

Auditorium de la Cité de la Voile Eric Tabarly

16/09/2022

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA

Claire Vraye, IMOCA

Lucas Jacquet, ENS Rennes

Olivier Kerbrat, ENS Rennes

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition



Projet ESD

Contexte et objectifs du projet

Vision schématique du projet

Livrables

Contexte et objectifs du projet Eco Sailing Design

Contexte

- Evolution des consciences et des réglementations, nouvelles règles de jauges IMOCA (printemps 2021)
 - **La transition écologique, enjeu majeur du monde maritime**
- La voile de compétition... un sport de compétition
 - **Concevoir et construire le bateau le plus innovant pour gagner des courses impliquant une forte confidentialité**
- Un leadership des entreprises de la Bretagne Sailing Valley® dans le domaine de la construction de voiliers de compétition et une filière d'excellence à forte image en France et à l'international

Contexte et objectifs du projet Eco Sailing Design

Objectifs

Eco Sailing Design® est un projet collaboratif qui vise à :

- Créer des données représentatives de l'activité bretonne
- Intégrer les entreprises bretonnes dans un programme de recherche et développement pour travailler sur de nouveaux outils d'écoconception
- Les faire monter en compétence sur le sujet et progresser ensemble au sein de la filière.

Son financement est porté par la Région Bretagne, BDI, l'ENS Rennes et les entreprises.

Avec ce projet, la Bretagne, berceau de la course au large, entend opérer sa transformation et garder son leadership dans ce domaine.

BRETAGNE^{BE}
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

eurolarg
INNOVATION

ES
rennes

Gem
Institut de Recherche en
Génie Civil et Mécanique

Université
Bretagne Sud
ubs

IRDIL
Institut de Recherche Dupuy de Lôme
UMR CNRS 6027

Région
BRETAGNE

**ECO
SAILING
DESIGN**

Contexte et objectifs du projet Eco Sailing Design

Partenaires, entreprises adhérentes au projet



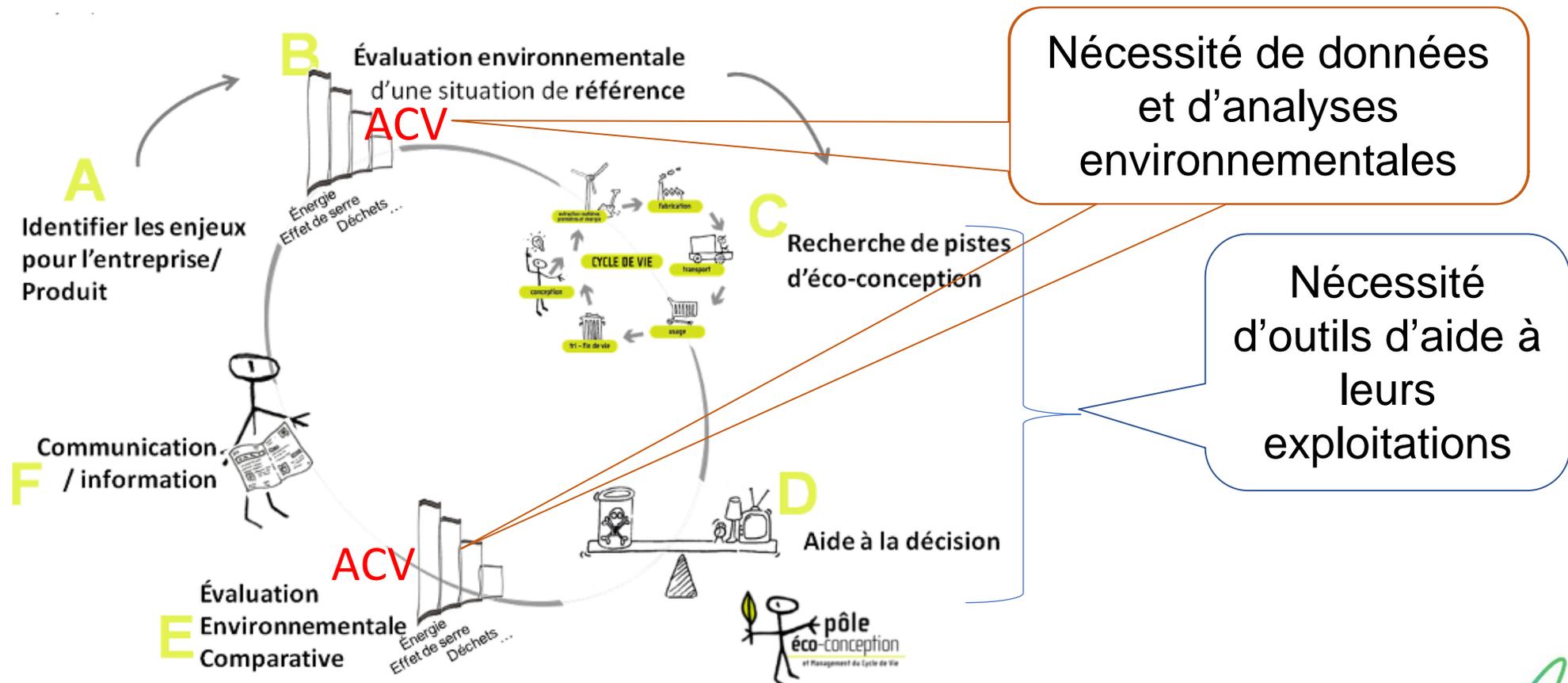
PEINTURES MARINES

NAUTIX

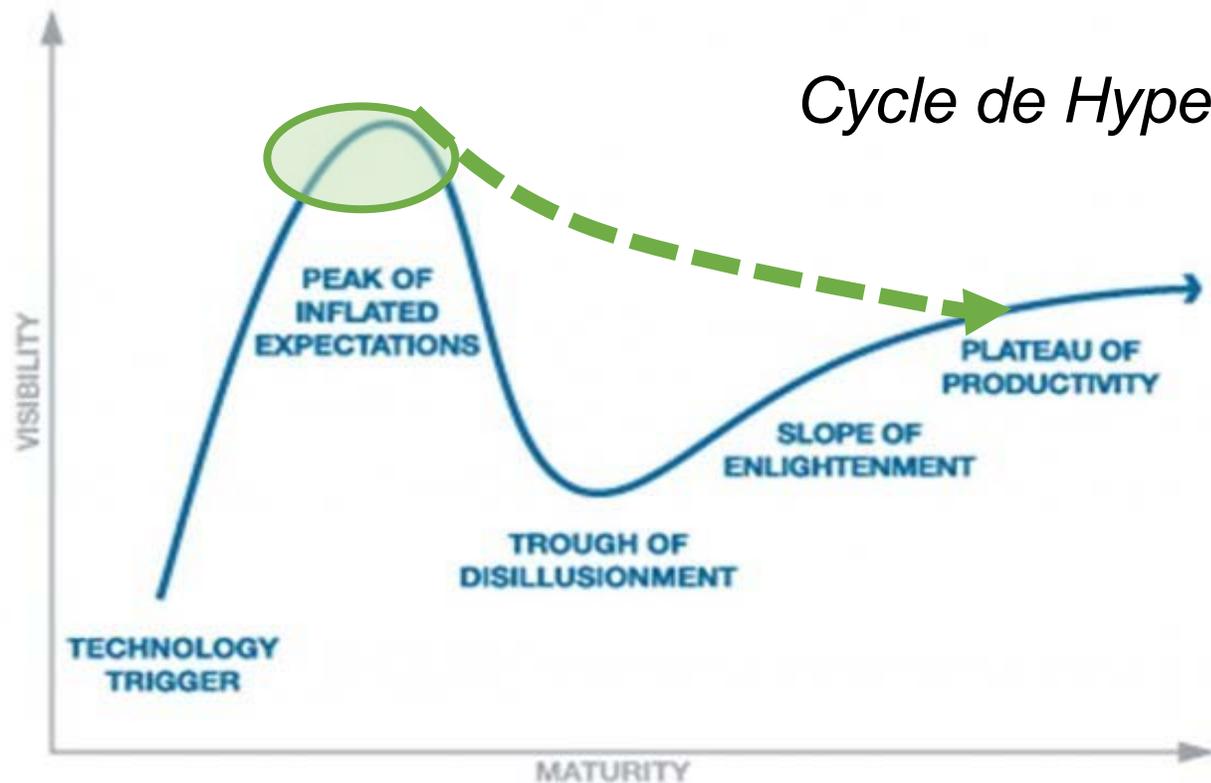


Contexte et objectifs du projet Eco Sailing Design

Démarche d'écoconception et analyse environnementale ACV



Contexte et objectifs du projet Eco Sailing Design



Freins au développement de l'écoperformance

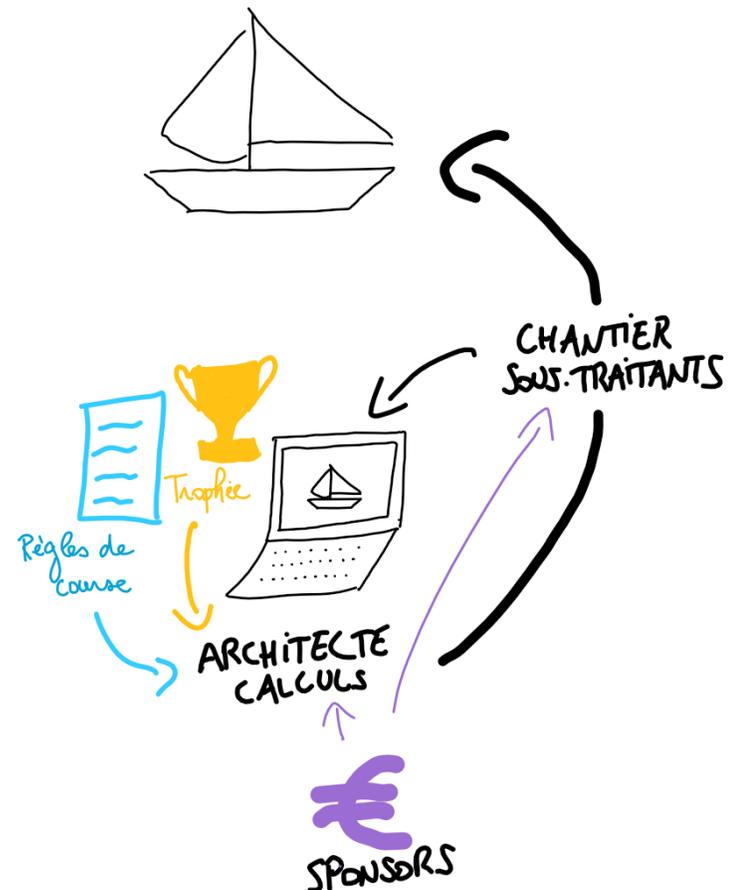
Coûts élevés

Incertitude des données non maîtrisée

Peu d'expertises en entreprise

Vision schématique du projet Eco Sailing Design

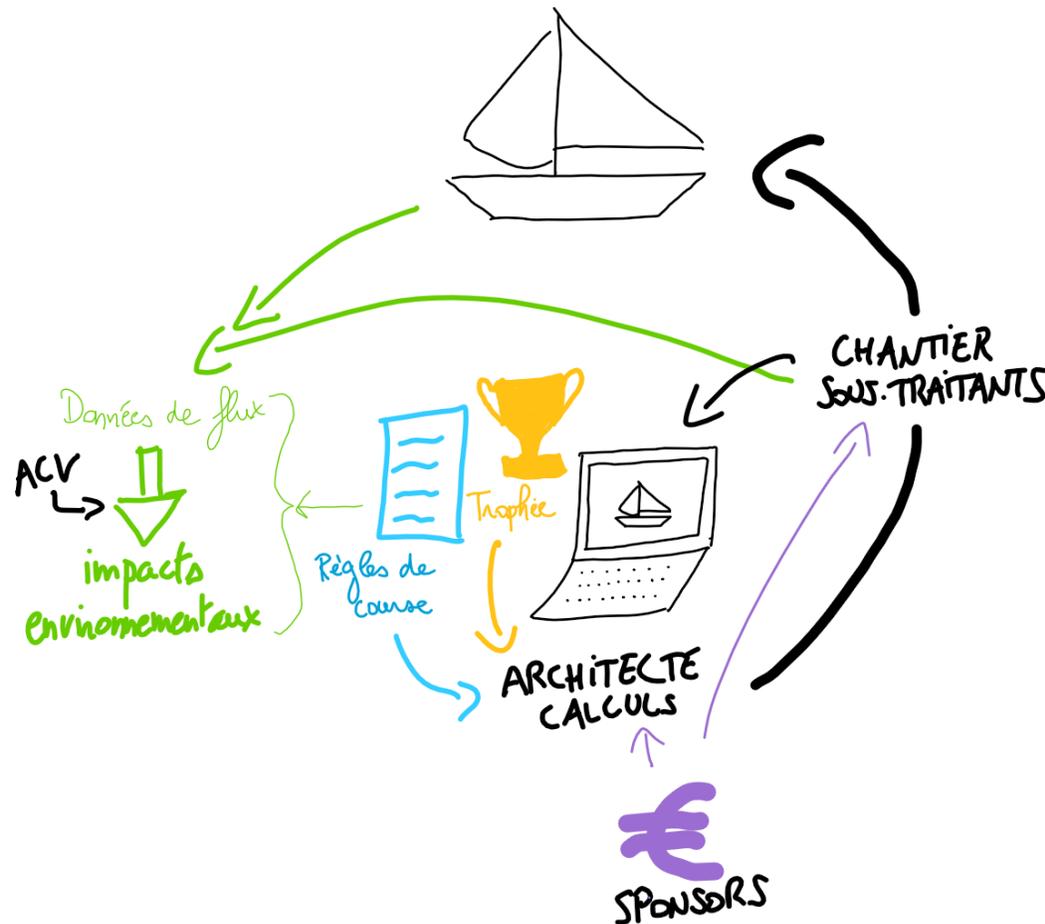
Aujourd'hui



Aujourd'hui :
Une filière tournée vers la
recherche de performance

Vision schématique du projet Eco Sailing Design

Demain



Aujourd'hui :

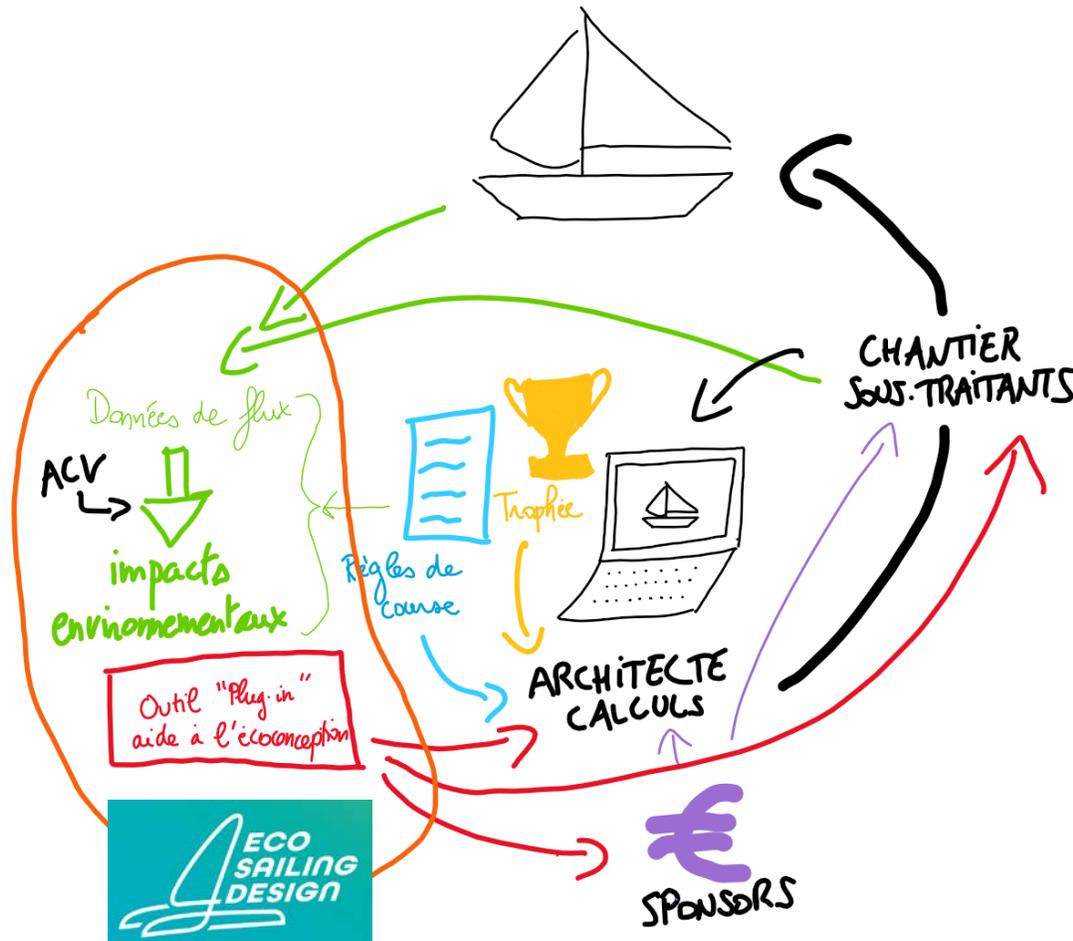
Une filière tournée vers la recherche de performance

Demain :

Évolution des consciences et des règles de course pour « compter » les impacts environnementaux

Vision schématique du projet Eco Sailing Design

Demain avec ESD



Aujourd'hui :
Une filière tournée vers la recherche de performance

Demain :
Évolution des consciences et des règles de course pour « compter » les impacts environnementaux

Demain avec ESD :
La maîtrise des impacts environnementaux pourra être combinée à la recherche de performance (plug-in aide à l'écoconception)

Livrables du projet Eco Sailing Design

A l'horizon Automne 2024

- Données fiables
- Processus spécifiques
- Analyse des données
- Outil « Plug-in » d'aide à l'écoconception

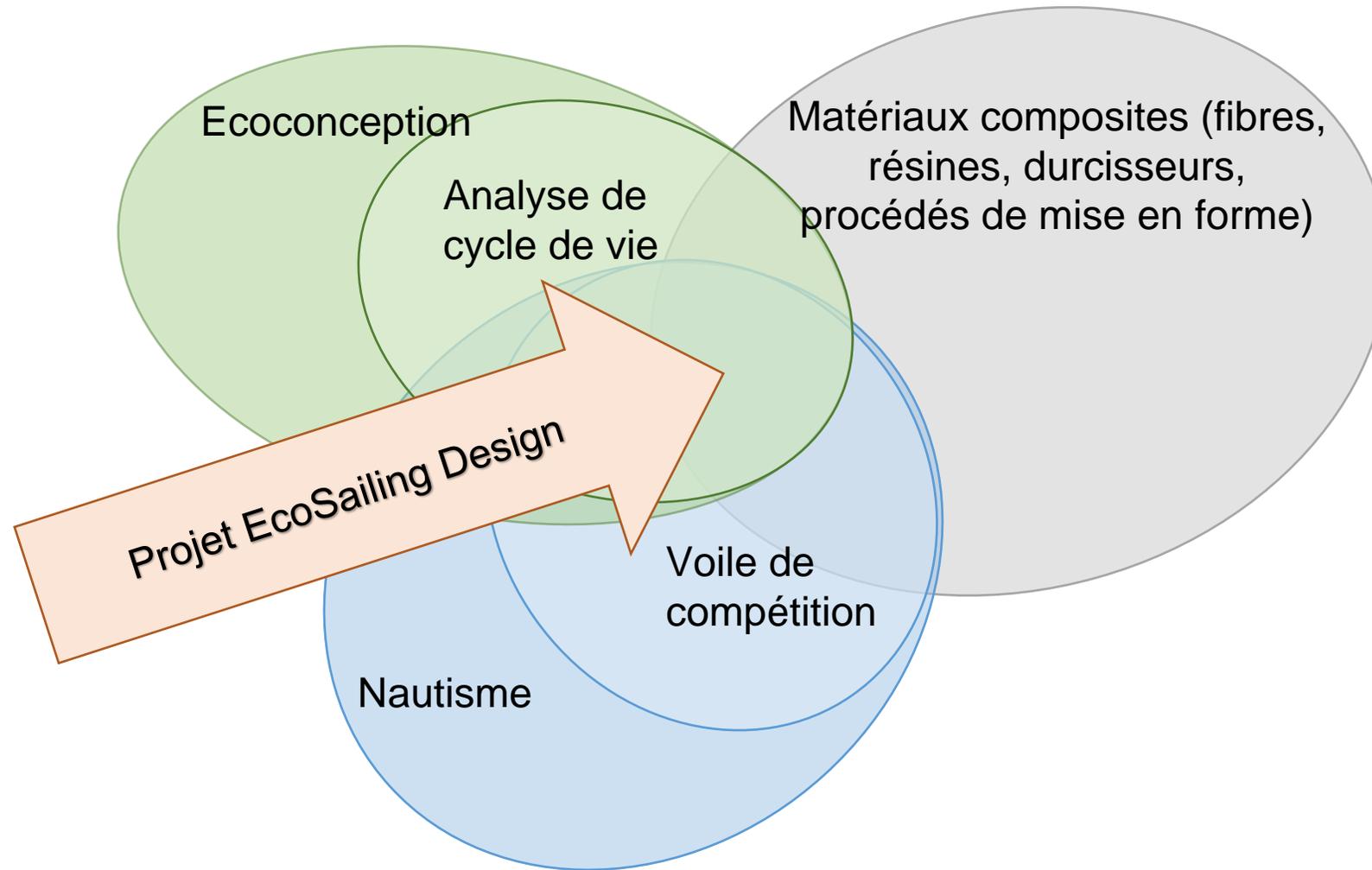
- Benchmark sur les outils d'analyse de cycle de vie
- Formations générales
- Formations spécifiques



Projet ESD

Résultats intermédiaires

Concepts attenants au projet



Problématiques données environnementales

Exemple de la fibre de carbone

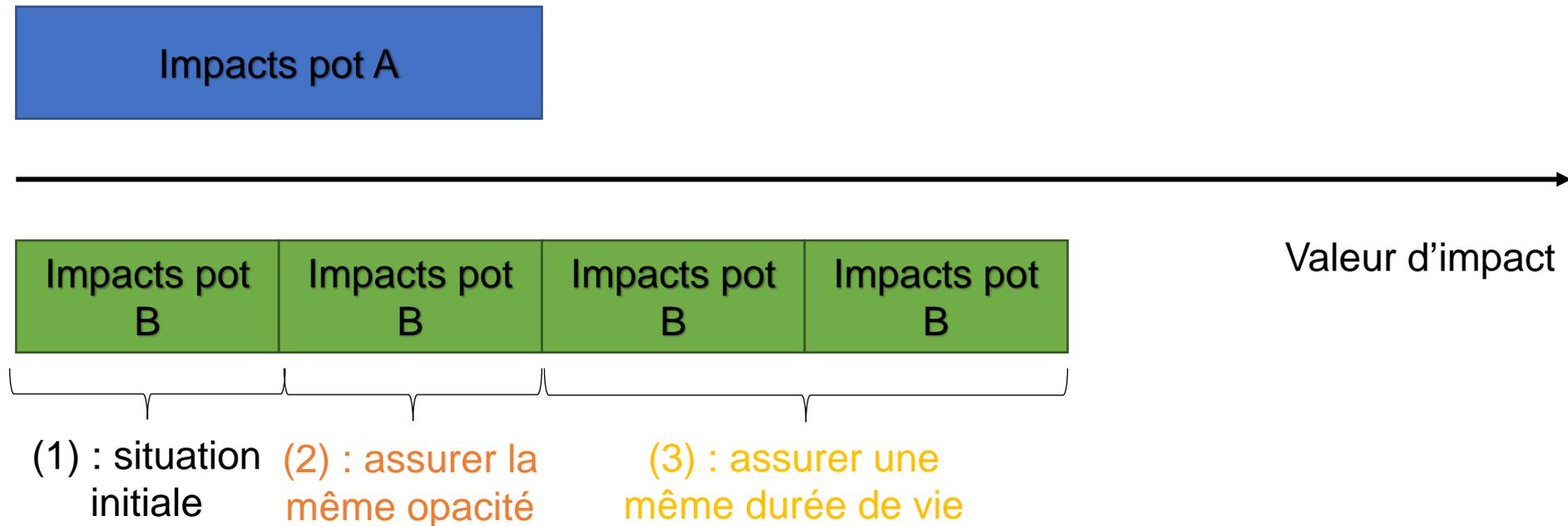
| Nom étude | Année | Résultats GHG (kg CO2eq) | Résultats CED (MJ) |
|-----------------------------------|-------|--------------------------|--------------------|
| (Suzuki & Takahashi, 2005) | 2005 | 20 | 286 |
| (Das, 2011) (PAN) | 2011 | 31 | 704 |
| (Das, 2011)(PAN basé sur lignine) | 2011 | 24.2 | 670 |
| (Duflou et al., 2012) | 2012 | 22,4 - 31 | 286 - 704 |

Peu d'études anciennes, disparités dans les résultats

Problématiques méthodologiques

Exemple de l'unité fonctionnelle d'un pot de peinture

Notions de **technicité**, **durée de vie**.



Des choix méthodologiques à fixer

Une filière en mouvement



MARINESHIFT360

Travail pour appuyer les initiatives d'un point de vue académique.

Travail sur les moules de foils

Présentation du moule



De nombreux
matériaux



De nombreuses étapes
de fabrication



Que veut dire « polluer » ?



Consommation d'électricité



Consommation d'eau



Emissions de GES (gaz à effet de serre)



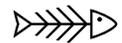
Déplétion de la couche d'Ozone



Toxicité terrestre



Brouillards de pollution



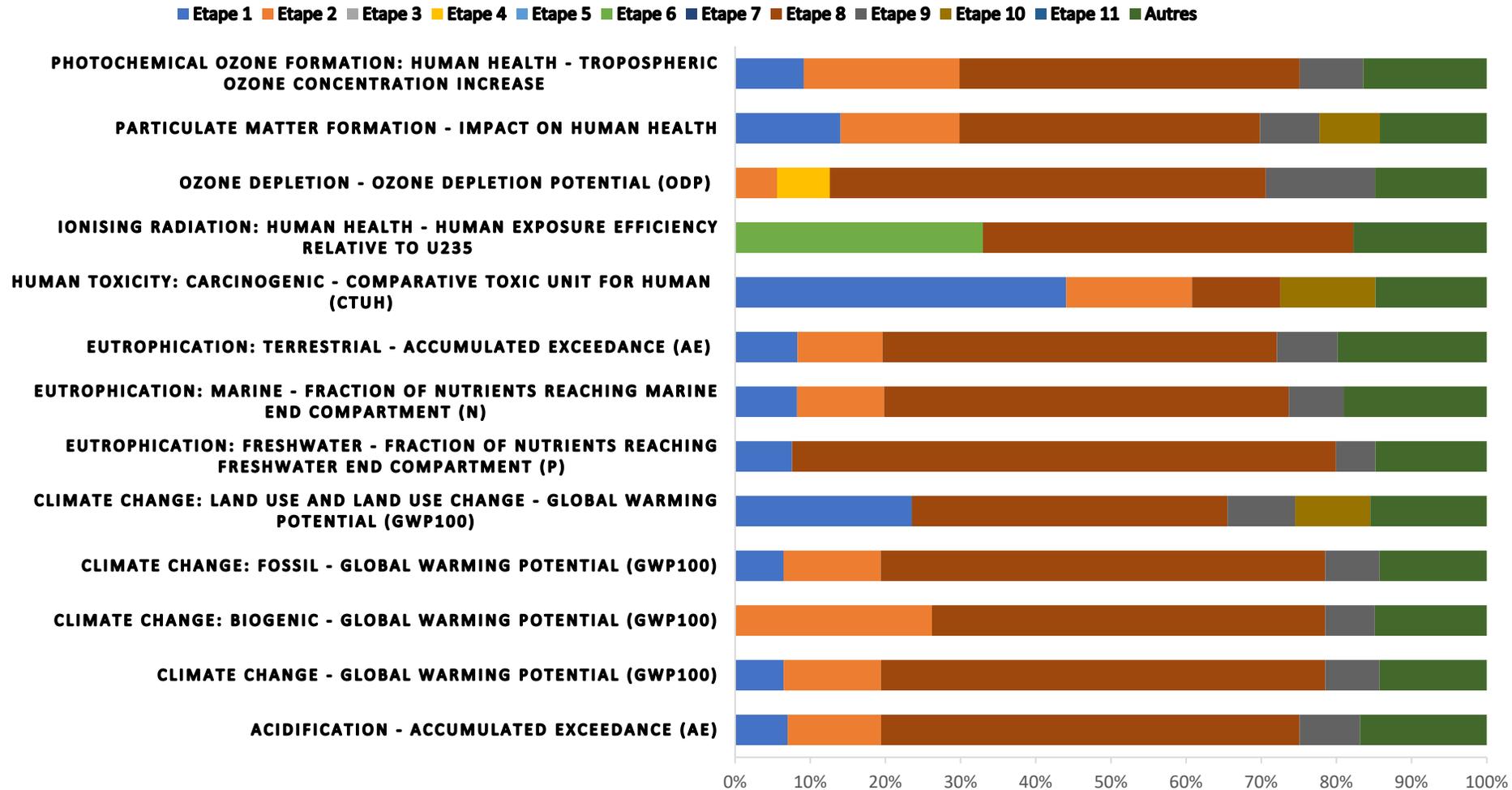
Toxicité aquatique



**Extraction de ressources
(renouvelables et non renouvelables)**

Travail sur les moules de foils

Résultats



Travail sur les moules de foils

Conclusion

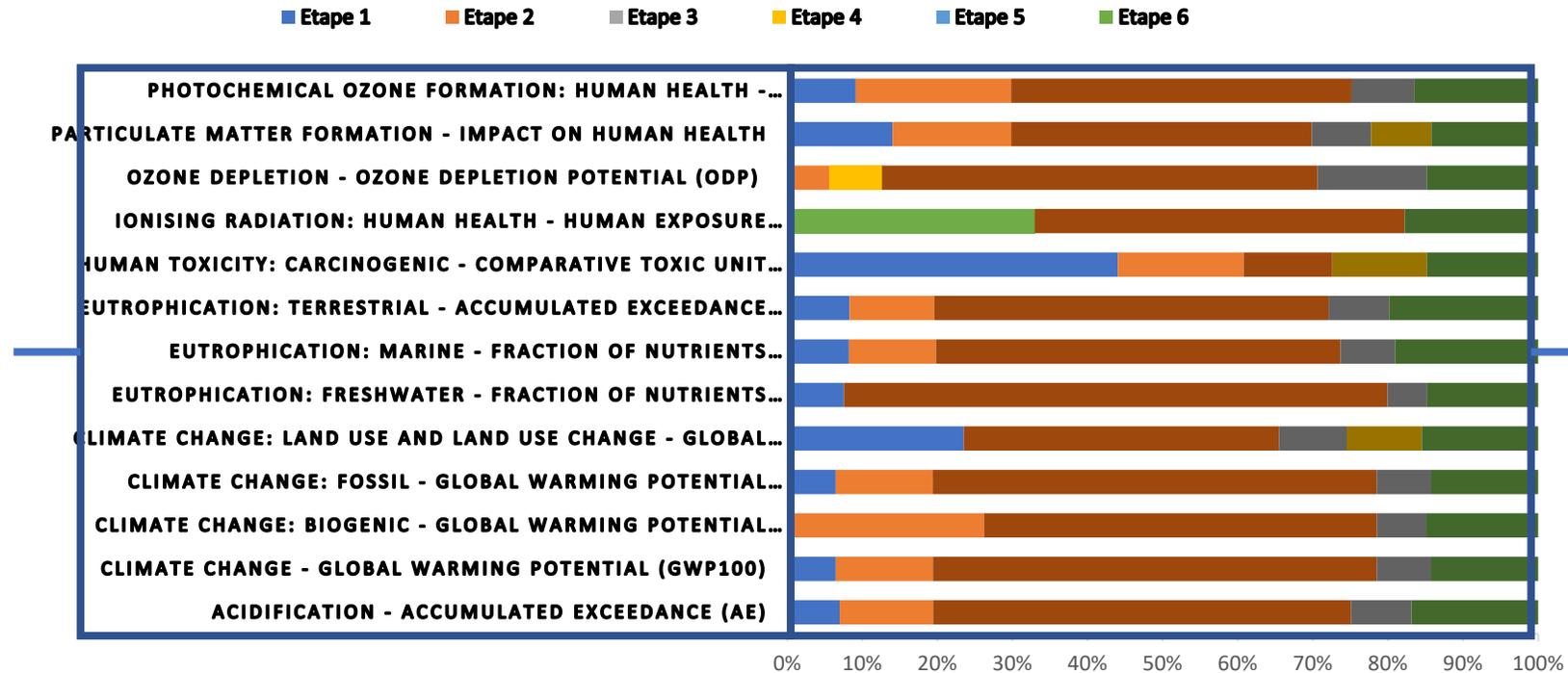
- Six procédés principalement responsables des impacts, drapage carbone en particulier.
- La fibre de carbone est principalement responsable des impacts du moule

Transfert vers la filière Voile de compétition

- Démonstrateur de ce qui va être fait sur d'autres pièces (façon de travailler + étude menée)
- Structure de la forme de la base de données
- Les résultats vont permettre de proposer des pistes d'écoconception sur le moule

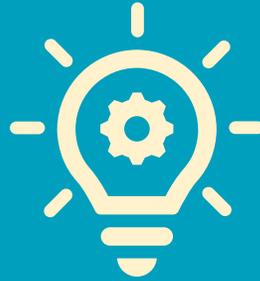
Problématique affichage et compréhension des impacts

Aide à la compréhension des impacts



Aide à la prise en main des résultats

Question à répondre



Quel est le meilleur moyen d'acculturer aux impacts environnementaux ?

Compréhension des impacts environnementaux

Expérience menée

Etudiants du département **mécatronique** de l'**ENS Rennes (L3)**.



Trois groupes de **5-6 apprenants** créés :



G1 : **vidéo**
explicative



G2 : prise en main sur
ordinateur type « **jeu** »



G3 : exploration immersive
en **réalité virtuelle**.

Compréhension des impacts environnementaux

Principaux résultats

Ressentis : Tous les étudiants disent avoir **appris des choses**, ressentis du **groupe 3** très **positifs**, ceux du **groupe 1** **négatif**, ceux du **groupe 2** **mitigé**.

Apprentissage : Les étudiants du **groupe 2 et 3** ont une compréhension plus **globale** du phénomène (**causes, conséquences**). Tous les étudiants ont appris des choses

dubitatif
ennui
habitué
Pas étonné
Calme,
Lassé
Stress
cours distanciel
Intéressé



G1

Pas un grand ressenti
Aucune surprise
Joie
Pas surpris
Intéressant
Envie de savoir
Ludique



G2

Bonne chose
étonnement
Positif
Immergé
Immersif
Intéressant
Pas redondant
Original
Curiosité



G3

Compréhension des impacts environnementaux

Conclusion



Réalité Virtuelle pour
l'apprentissage



Réalité Virtuelle pour la
sensibilisation

Transfert vers la filière Voile de compétition



Formations des acteurs
de la filière



Appropriation de l'ACV
par la filière



Utilisation dans le plug-in

Perspectives pour la deuxième année de thèse



**Données
environnementales.**



**Formalisation du plug-
in.**



**Méthodologie ACV
pour la filière.**



**Affichage des résultats
ACV**

Auditorium de la Cité de la Voile Eric Tabarly

16/09/2022

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA

Claire Vraye, IMOCA

Lucas Jacquet, ENS Rennes

Olivier Kerbrat, ENS Rennes

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition



AVEL
LE COMPOSITE 4D

HIGH-PERFORMANCE COMPOSITE MANUFACTURING

Company presentation

2022

An aerial photograph of a city waterfront at sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm orange glow over the sky and reflecting on the water. Several sailboats are anchored in the harbor. In the background, there are various industrial and commercial buildings, including a prominent tall cylindrical structure. The word 'AveL' is overlaid in large, white, sans-serif font. The 'A' is significantly larger than the other letters and has a diagonal line cutting through it from the top right to the bottom left.

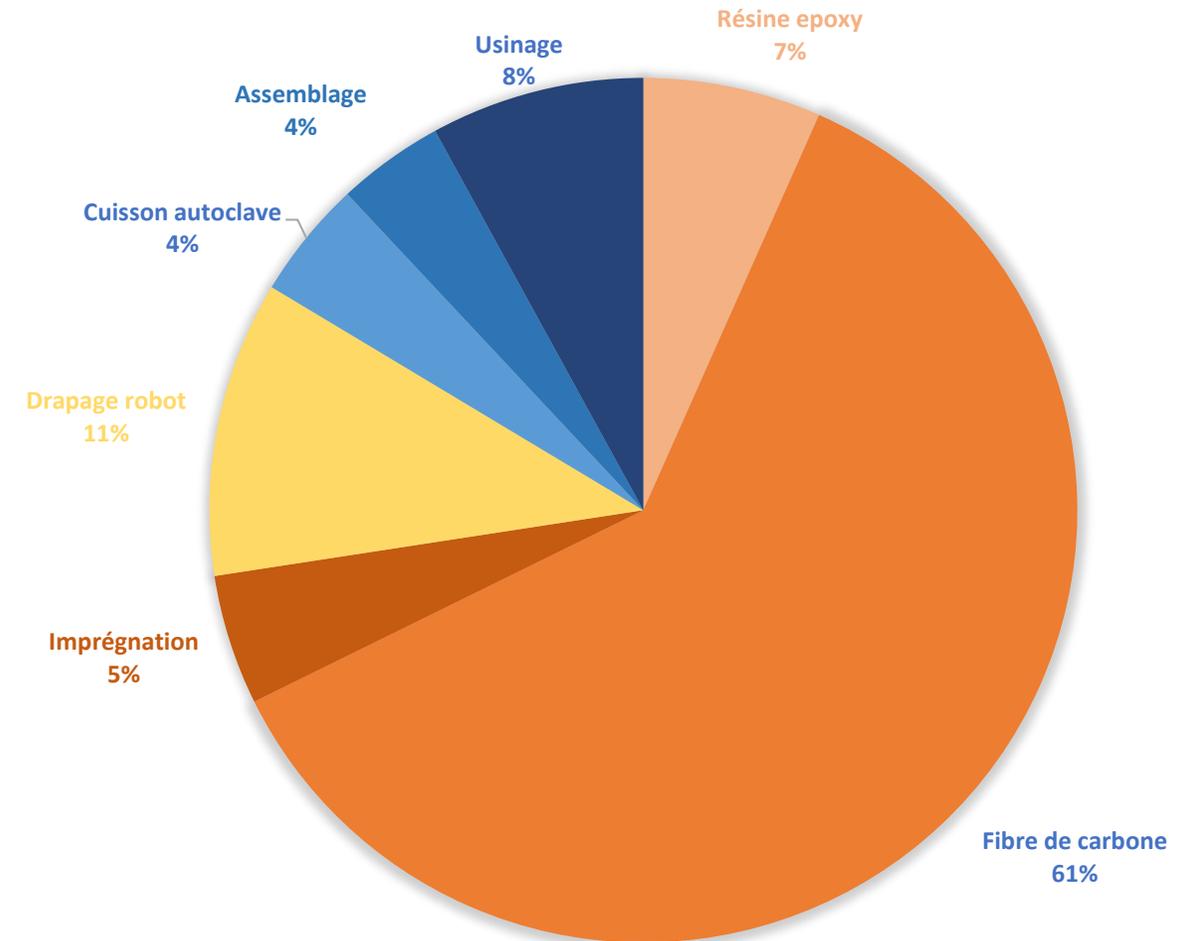
AveL

LE COMPOSITE 4D

Impact énergétique process Avel

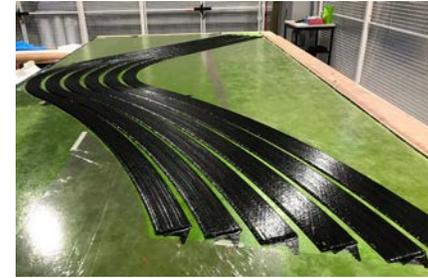
BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UN KILO DE FOIL AVEL

- ACV “interne”:
 - Basée sur la littérature scientifique:
 - Résine époxy
 - Fibre de carbone
 - Imprégnation prepreg
 - Basée sur notre consommation énergétique:
 - Autoclave
 - Robot
 - Assemblage
 - Usinage



Eco-performance ?

- Le béaba:
 - Mieux utiliser chaque Kg de matière première
 - Réduire les déchets



- Pour aller plus loin:
 - Préciser les données élémentaires sur les matériaux
 - Mettre en commun les initiatives industrielles
 - Associer contraintes industrielles et recherche académique



Et maintenant?

- IMOCA donne un objectif d'éco-performance horizon 2025-2028
 - Met en compétition les fabricants et technologies
 - Intègre l'éco-performance dans la réalité économique



- Eco sailing design crée un outil pour s'améliorer horizon 2024
 - Approche scientifique rigoureuse
 - Accès à des outils de décision avant la fabrication



Auditorium de la Cité de la Voile Eric Tabarly

16/09/2022

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA

Claire Vraye, IMOCA

Lucas Jacquet, ENS Rennes

Olivier Kerbrat, ENS Rennes

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL
Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition



Ouvrir d'autres voies à la transition : collaborer avec les scientifiques



2021
2030 United Nations Decade
of Ocean Science
for Sustainable Development

- Partenariat avec la **COI/UNESCO et OceanOPS** depuis 2019
- Actions de l'IMOCA dans le cadre du **programme ODYSSEY** :
 - o Déploiement d'instruments par des équipes volontaires en course (**30 instruments déployés** depuis 2019)
 - Instruments océanographiques : flotteur ARGO
 - Collaboration avec **Météo France** : bouées météo sur des zones non quadrillées
- Les sciences au coeur de la compétition : **The Ocean Race**

Le programme scientifique (débuté en 2015)



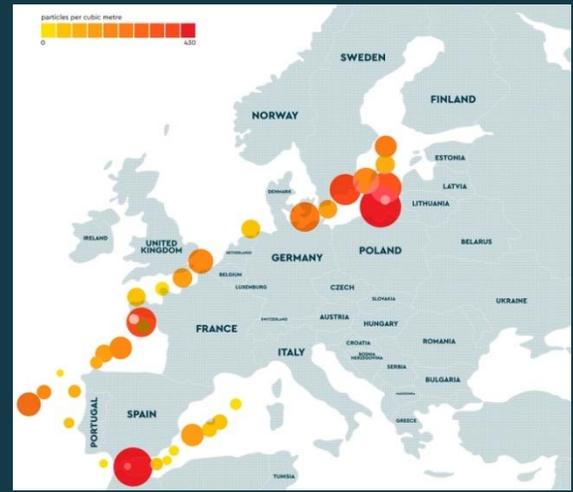
THE ROUTE



Résultats 2017/18

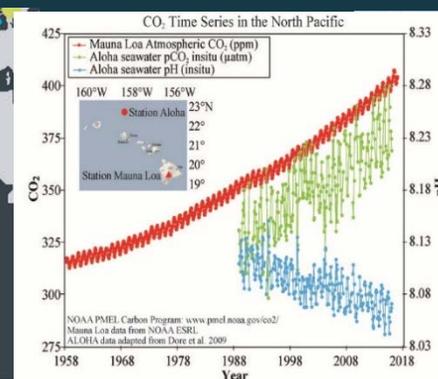
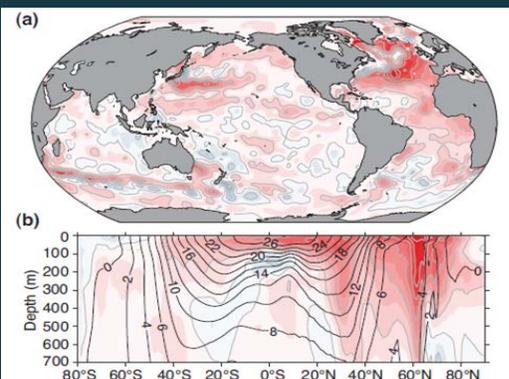
1. Acheminement des données météorologiques.
2. Déploiement des dériveurs de surface.
3. Mesure des paramètres océaniques essentiels, notamment la SST, la SSS, l'oxygène dissous et le pCO2, et
4. Mesures des plastiques marins.

Pour chacun des quatre éléments, un groupe de recherche dédié sera chargé de la coordination scientifique, y compris le stockage des données, l'analyse des données et leur exploitation pour des publications scientifiques.



Résultats 2021

■ Pourquoi avoir la science à bord ?



Température de surface et Oxygène dissous

La pollution plastique

Augmentation des niveaux de CO₂ et le changement climatique

Prévisions météorologiques

- L'océan emmagasine ~93% de l'excès de chaleur mondiale.
- L'océan stocke environ 1/3 des émissions de CO₂ produites par l'homme.
- Plus de 8 millions de tonnes de plastique sont déversées dans les océans.
- Les systèmes de prévision météorologique dépendent essentiellement des données (lancement de modèles).
- **Objectif : mieux comprendre la santé des océans**

Partenaires scientifiques



Geomar (GER)
Toste Tanhua
pCO₂



SOI (US)
TBD
Microplastic



Ifremer (FRA)
Thierry Reynaud
SSS, SST



NOAA (US)
S. Dolk, K. O'Brien
*Weather data, SSS,
SST*



MPI (GER)
Peter Landschützer
pCO₂, DO



CNRS (FRA)
Veronique Garcon
Dissolved Oxygen



NOC (GB)
Katsiaryna Pabortsava
Microplastic



UDL (ESP)
Arne Bratkic
Trace elements

Science Equipment

Équipement scientifique

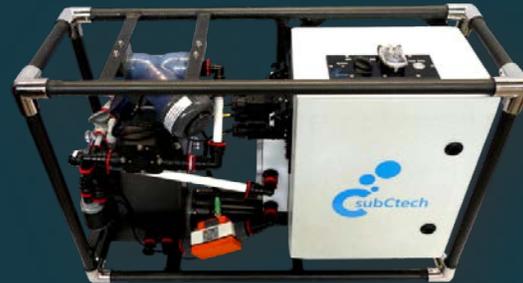
- Barometric pressure
- Wind speed & direction
- Air temperature



TOUS LES BATEAUX

OceanPack (appareil scientifique autonome)

- pCO2
- Dissolved Oxygen (or Chla)
- Temperature and Salinity
- Add on: trace elements



MALIZIA (SELF FUNDED)
11TH HOUR RACING
BIOTHERM
"Team 6"

Échantillonneur de microplastiques

- MP particle sizes fractions (30, 100 and 300 nm)
- Filter volume and flow



GUYOT
HOLCIM

Drifters

- Barometric pressure
- Wind speed & direction
- Air temperature



TOUS les vo65

OceanPack (appareil scientifique autonome)

IMOCA 60



- Water intake: keel (deep).
- Water outlet: keel box
- Proven during the last Vendee globe
- Deployments on IMOCA: Fabrice Amadeo (Newrest), Malizia, 11HR
- Deployments on vo65: TTOP and AkzoNobel
- Installation: see guideline (pdf)



- Approx. 250 x 735 x 500mm (WxHxD)
- Weight: 17 kg (unit) + 1.5 kg (gas bottle)
- Power: 1.2 Amp (24V)
- Including: self priming pump

- CT sensor: sea surface temperature and salinity
- pCO2 sensor: dissolved CO2
- barom. pressure
- DO sensor: dissolves oxygen
- Other sensors (e.g. Chla) possible
- approx.: 60 k€

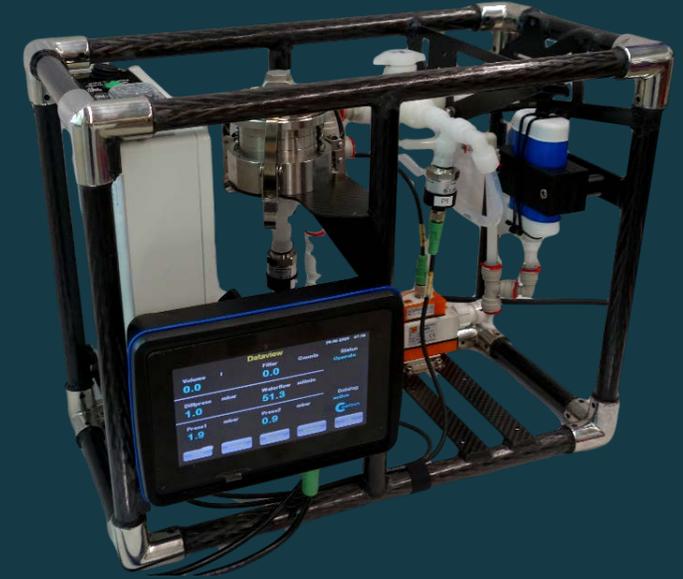
Unité d'échantillonnage des microplastiques



- Water intake: keel (deep).
- Water outlet: keelbox
- Proven during the last Vendee globe
- Deployments on IMOCA: Fabrice Amadeo (Newrest)
- Deployments on vo65: TTOP and AkzoNobel
- Installation: see guideline (pdf)



- Aim: maximum volume in short time
- Sets of 2 or 3 filters
- Mesh: 30, 100 and 300 μm
- Filter sets: about 10 to 20 per leg



- Approx. 500 x 400 x 250 mm (WxHxD)
- Weight: 14 kg (unit) + about 5 kg (filters)
- Power: 1.2 Amp (24V)
- Including: self priming pump
- approx.: 50 k€ (with filters)

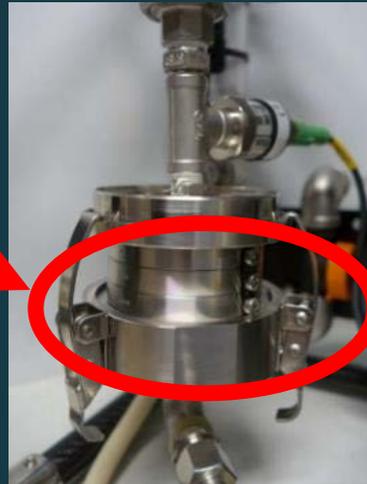
Procédure à bord

- Charge de travail quotidienne : environ 5 min



Unité d'échantillonnage en micro plastique

Cassette de filtre



Remplacer la cassette du filtre



Boîte de transport pour une cassette filtrante



- La cassette filtrante doit être remplacée selon un calendrier (défini par le scientifique responsable).
- A considérer : le poids de chaque cassette filtrante (environ 500g).
- Les cassettes filtrantes seront stockées à bord
- Après la course : expédition au laboratoire
- Note : le goulot d'étranglement est l'analyse scientifique qui suit. Chaque échantillon nécessite plusieurs jours de travail en laboratoire (sans compter l'analyse des données).



ATINET

Linked out

IMOCA
EFG
ACE WE ST WIN
CLIMATE ACTION NOW!
seaexplorer

APIC

APIVIA

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

Conférence conjointe IMOCA / ESD

IMOCA



Noémie Provost, IMOCA
noemie.provost@imoca.org

Claire Vraye, IMOCA
claire.vayer@imoca.org

Lucas Jacquet, ENS Rennes
lucas.jacquet@ens-rennes.fr

Olivier Kerbrat, ENS Rennes
olivier.kerbrat@ens-rennes.fr

Invités :

Stefan Raimund, The Ocean Race

Adrien Marchandise, AVEL Robotics

Transition écologique et écopformance des voiliers de
compétition