

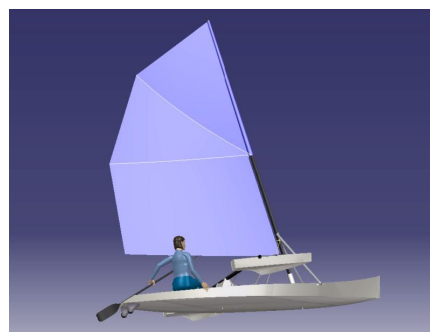


Prix du Bateau Bleu

Année 2007

Analyse du Cycle de Vie de l'embarcation de plaisance 'à la journée'

**Comparaison des différentes solutions existantes
&
Propositions**



Frédéric JOUFFROY

Table des matières

1. INTRODUCTION :	3
2. OBJECTIF DE L'ETUDE	4
3. UNITE FONCTIONNELLE ET PRODUITS ETUDIES	4
3.1 UNITE FONCTIONNELLE	4
3.2 DESCRIPTION DES PRODUITS ETUDIES	4
3.3 QUANTITES SE RAPPORTANT A L'UNITE FONCTIONNELLE.	6
4.FRONTIERES DES SYSTEMES ETUDIES	7
4.1 PRESENTATION DES SYSTEMES CORRESPONDANT AUX SCENARIOS DE REFERENCE.....	7
4.2 CYCLE DE VIE : BATEAU DE PLAISANCE.....	7
4.3. CYCLE DE VIE : INFRASTRUCTURE DE PRODUCTION DU BATEAU.	8
4.4. DELIMITATION DES FRONTIERES DU SYSTEME.....	8
5. FLUX ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ETUDIES	9
5.1 FLUX ENVIRONNEMENTAUX ET INDICATEURS ENERGETIQUES.....	9
6. CALCUL DE L'INVENTAIRE : HYPOTHESES DE CALCUL	9
6.1 BATIMENTS CHANTIER.....	9
6.2 MATERIAUX ET EQUIPEMENTS.....	9
6.3 MATERIAUX COMPOSITES ET SOLVANTS	10
6.4 TRANSPORTS POUR FABRICATION.....	10
6.5 UTILISATION	10
6.6 ENTRETIEN DU BATEAU	11
6.7. DUREE DE VIE.....	11
6.8. PHASE DE DECONSTRUCTION EN FIN DE VIE.....	11
7. RESULTATS	12
7.1 EXPLOITATIONS DES RESULTATS	14
8. PERSPECTIVES D'AMELIORATION	16
8.1 PERIODE D'UTILISATION DU BATEAU	16
8.2 FABRICATION ET FIN DE VIE DU BATEAU.....	17
9. UNE PROPOSITION DE CONCEPTION ALTERNATIVE : WINDYAK	19
9.1 LE CONCEPT WINDYAK	19
9.2 GRAND WINDYAK.....	23
9.3 KIT WINDYAK REPLIABLE POUR KAYAK DE MER.....	24
.9.4 LITTLE WINDYAK.....	26
10. CONCLUSION	29

1. Introduction :

L'éco-conception consiste à intégrer la dimension environnementale dans la conception des produits. Elle prend en compte l'ensemble des impacts environnementaux générés à toutes les étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un service: extraction des matières premières, production, distribution, utilisation, puis traitement en fin de vie.

Démarche préventive par excellence, l'éco-conception vise :

- à évaluer quantitativement et/ou qualitativement les principaux de ce produit ou service grâce à différentes méthodologies et divers outils.
- à minimiser ces impacts par différentes mesures : changement de matériaux, meilleure efficacité énergétique, recyclabilité des matériaux, reprise des produits en fin de vie...

Parmi les différentes méthodes d'éco-conception développées, on peut citer tout d'abord les démarches sélectives telles l'Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie (ESQCV) Elle est basée sur une évaluation qualitative des impacts, réduite à certaines phases du cycle de vie. Elle consiste à rechercher des options de conception permettant de réduire le poids d'un ou plusieurs impacts environnementaux préalablement identifiés et vérifier que les pistes d'amélioration retenues ne risquent pas d'aggraver d'autres impacts. Concrètement, le concepteur renseigne un questionnaire balayant différents critères préalablement sélectionnés. Les réponses apportées positionnent le produit à un niveau « bon », « moyen » ou « faible ». Cette démarche présente l'avantage d'être facilement appropriable.

Mais, par essence, l'éco-conception est surtout une démarche exhaustive basée sur l'analyse fine du cycle de vie (ACV) d'un produit ou d'un service, consistant à faire un bilan global des impacts environnementaux d'un produit ou service sur toute les phases de sa vie, à rechercher des options de conception permettant de réduire le poids de ces impacts, et à contrôler que les pistes d'amélioration retenues soient efficaces.

Le but fondamental, suivant la logique de pensée 'cycle de vie', est de réduire la pression d'un produit sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, incinération, recyclage, etc). Un effet secondaire est qu'en limitant les besoins en ressources et en énergie, la chaîne de valeur du produit peut s'en trouver améliorée.

Malgré le nom de cette méthode, il est important de comprendre que l'analyse du cycle de vie s'occupe **d'étudier la fonction du produit**. En effet, en n'étudiant que le produit en lui-même, il deviendrait difficile de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente comme la voiture et le transport en commun dont la fonction commune est de déplacer des personnes.

Nous nous intéressons ici au service 'Navigation de plaisance à la journée ' apporté à l'utilisateur. Nous ne chercherons pas dans ce document à dérouler exhaustivement l'ensemble de l'analyse du cycle de vie sur un produit bateau donné 'a priori', mais à tout d'abord revenir sur la définition même de la fonction 'plaisance'. Ceci, pour évaluer les solutions existantes, afin de proposer ensuite une ou des solutions d'amélioration, en terme de conception / fabrication du bateau mais plus généralement aussi en terme de pratique / comportement de l'utilisateur qui est un élément fondamental. En effet, c'est en intervenant de la façon la plus large possible que l'on pourra le plus significativement agir pour diminuer l'impact environnemental de la navigation de plaisance.

La majeure partie de ce document suit le cadre standard défini par la norme ISO14041

2. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude ACV simplifiée est de faire un bilan partiel de l'impact environnemental d'une certaine pratique existante de la navigation de plaisance, afin d'identifier des axes d'amélioration et de proposer des solutions correspondantes.

3. Unité fonctionnelle et produits étudiés

3.1 Unité fonctionnelle

La fonction de la navigation de plaisance est de procurer du plaisir sur l'eau à des usagers pratiquant cette navigation par agrément. Elle peut prendre différentes formes: promenade; sport (planche à voile, kyte-surf..); compétition, sur 1 heure, ou plusieurs mois au large ; voyage (le bateau devenant alors habitation) sur quelques jours ou plusieurs années; L'équipage peut comporter une ou de nombreuses personnes, etc..

Nous nous restreignons ici au cas d'application de la sortie de promenade à la journée (ou pour quelques heures) en cercle restreint (1 à 4 personnes) , à proximité du rivage, avec retour au point de départ. Elle constitue de loin la pratique la plus répandue car la moins contraignante, et aussi la plus accessible. Concernant un public très large, en augmentation avec le développement de la plaisance, elle est donc susceptible d'avoir un impact environnemental important.

3.2 Description des produits étudiés

Ce sont les différents types d'embarcation permettant de pratiquer cette navigation de plaisance 'sortie à la journée'. Nous avons aussi recensé ici un produit utilisé de fait pour ce genre de navigation, et non pas uniquement ceux uniquement dédiés à ce genre de pratique (=bateaux non habitables) :

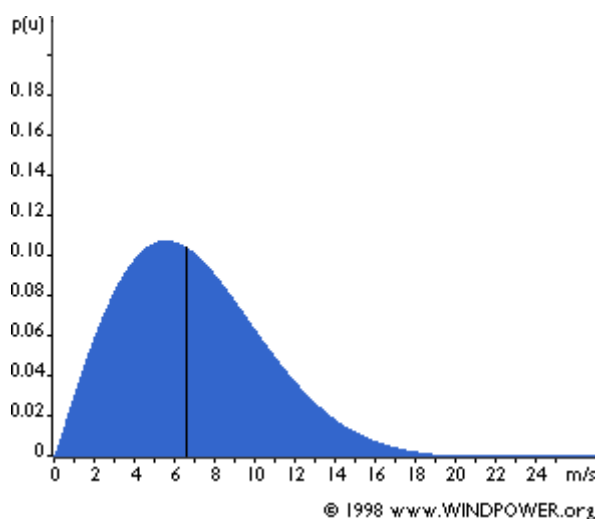
- Dériveur ou multicoque léger de sport
- Canoé/kayak
- Yole/barque propulsée à l'aviron
- Monocoque voile-aviron
- Catamaran ou monocoque de randonnée
- Catamaran et monocoque habitable
- Bateau à moteur pneumatique léger
- Bateau à moteur ouvert

Ces différentes embarcations ont été évaluées en terme de potentiel d'utilisation. Celui-ci permet d'estimer un nombre correspondant de 'jours d'utilisation par an', qui est une entrée nécessaire pour calculer l'information pertinente que nous souhaitons finalement obtenir, c'est à dire l'impact environnemental associé à une sortie 'à la journée'.

Pour définir ce potentiel d'utilisation, nous avons fait appel au raisonnement suivant.

- La majorité de la population vit en zone urbaine, à distance du littoral.
- Nos activités de loisirs augmentent mais sont de plus en plus en plus fragmentées; un déplacement étant associé à chaque pratique de loisir. Cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée; en particulier en période estivale, mais elle nous permet de disposer d'un modèle simple de représentation.
- Fréquence de la pratique d'un loisir est liée à la durée de temps contrainte qu'il impose, c'est à dire le temps nécessaire pour se rendre sur le lieu de l'activité et celui de préparation de l'activité (montage du bateau). Pour schématiser, la durée de navigation étant constante dans notre cas d'étude (la journée), on fera plus facilement du kayak sur une rivière à quelques kilomètres de son domicile que de la voile sur un bateau de croisière à 3 heures de route. Nous avons fait l'hypothèse que le potentiel d'utilisation est inversement proportionnel au temps contrainte, ce qui est sans doute caricatural mais présente l'avantage de bien marquer les tendances.
- Un bateau n'est utilisable que si les conditions météorologiques le permettent. Partant d'une statistique globale de distribution de la force du vent (voir ci-dessous) et de la plage d'utilisation

possible associée à chaque type d'embarcation, on peut calculer la probabilité météo d'utilisation du bateau, qui est intégrée dans le potentiel d'utilisation.



On définit finalement le potentiel d'utilisation de la façon suivante :

Potentiel d'utilisation= Proba.météo utilisation/(temps déplacement plan d'eau + temps préparation bateau)

Le tableau ci-dessous donne la synthèse des résultats obtenus

Embarcation	Poids (kg)	Propulsion	Plage force vent utilis.	Proba. météo utilis.	Stockage période utilisation	Durée prépa (mn)	Infrastr. mise à l'eau	Plans d'eau accessibles	Dist. plan d'eau (km)	Stockage hors utilisation	Potentiel utilisation
Dériveur/multicoque léger	80-150	vélique	2-5	77%	plage/remorque	25	plage	étang	40	remorq+local	1,2
Canoé ou kayak	15-40	musculaire	0-4	59%	local	5	-	rivière-canal	20	local	2,3
Yole ou barque aviron	30-80	musculaire	0-3	33%	plage/remorque	15	plage	étang	40	remorq+local	0,6
Mono-coque voile-aviron	150-200	vélique+musc	0-5	82%	remorque	25	plage	étang	40	remorq+local	1,3
Mono/multicoque randonnée	250-500	vélique+méca	0-6	94%	remorque/mouill	40	cale	lac	80	remorq+local	0,8
Mono/multicoque croisière	>1500	vélique+méca	0-7	97%	port/mouillage	20	grue	mer/gds lacs	160	port/à sec	0,5
Bateau moteur léger	80-300	mécanique	0-4	59%	remorque	15	plage	étang	40	remorq+local	1,1
Bat.moteur non habitable	700-1200	mécanique	0-5	82%	remorque/mouill	30	cale	lac	80	remorq+local	0,7

Quelques commentaires concernant la définition de ce tableau :

1) Catégorie de poids du bateau:

Elle conditionne directement l'infrastructure nécessaire pour mettre à l'eau le bateau ou le laisser prêt pour utilisation, donc l'existence (fréquence) du plan d'eau adapté, et donc la distance à parcourir pour le rejoindre.

- Aucune infrastructure nécessaire (canal, rivière)
- Plage pour mise à l'eau sur remorque (étang)
- Cale pour mise à l'eau sur remorque tractée (lac)
- Grue et port (mer et grand lac)

2) Plage d'utilisation (force du vent) : Nous avons retenu celle correspondant à un utilisateur 'moyen'.

3) Propulsion musculaire : La barque ou yole de mer mue à l'aviron est plus lourde et présente plus de fardage qu'un kayak, ce qui limite plus rapidement son utilisation quand le vent monte.

4) Hypothèses de stockage en période d'utilisation.

- Le kayak, facile à transporter, est stocké en local fermé

- Les dériveurs et yoles d'aviron restent sur leur chariot de mise à l'eau sur la plage.
- Les bateaux voile-aviron sont sur leur remorque.
- Les voiliers de randonnée sont lourds à mettre à l'eau quotidiennement depuis une cale et restent au mouillage.
- Les vrais bateaux de croisière ont besoin d'un mouillage ou d'une place au port
- Même logique pour les bateaux à moteur en fonction de leur poids et taille.

5) Durée de préparation.

Intègre le temps depuis l'arrivée au bord de l'eau jusqu'au départ possible du bateau, hors préparation de l'équipage. Inclut donc la mise à l'eau et le gréage si applicable (pour kayak, yole, dériveur-cata de sport, voile-aviron, bateaux de randonnée, petits bateaux à moteur)

6) Durée de transport (pour se rendre au plan d'eau). Directement liée à la distance du plan d'eau.
Hypothèse : 1km → 1mn de transport

7) Hypothèses de stockage en hivernage

- En local pour tous les bateaux transportables
- Au sec ou au port pour les habitables.

3.3 Quantités se rapportant à l'unité fonctionnelle.

Nous faisons l'hypothèse que tous les bateaux sélectionnés à l'exception du kayak peuvent convenablement accueillir à bord de 2 à 4 personnes pour quelques heures. Le chiffre de 1 unité par bateau sera donc considéré, sauf pour le kayak (2 unités).

4. Frontières des systèmes étudiés

4.1 Présentation des systèmes correspondant aux scénarios de référence

L'objectif de ce paragraphe est de décrire succinctement le cycle de vie 'générique' du bateau de plaisance, pour pouvoir ensuite évaluer, à l'aide du canevas défini, les différents types d'embarcations considérées. Ceci peut être fait relativement facilement car en effet, dans le contexte de la plaisance industrielle actuelle, le mode de fabrication basé sur une structure en stratifié (composite fibre de verre + résine polyester) réalisée en moule femelle est aujourd'hui quasiment la norme, même si différentes variantes sont appliquées par les chantiers. Cette simplification va nous permettre de comparer directement, en valeur relative, des embarcations très différentes, afin de pouvoir proposer des solutions globales d'amélioration.

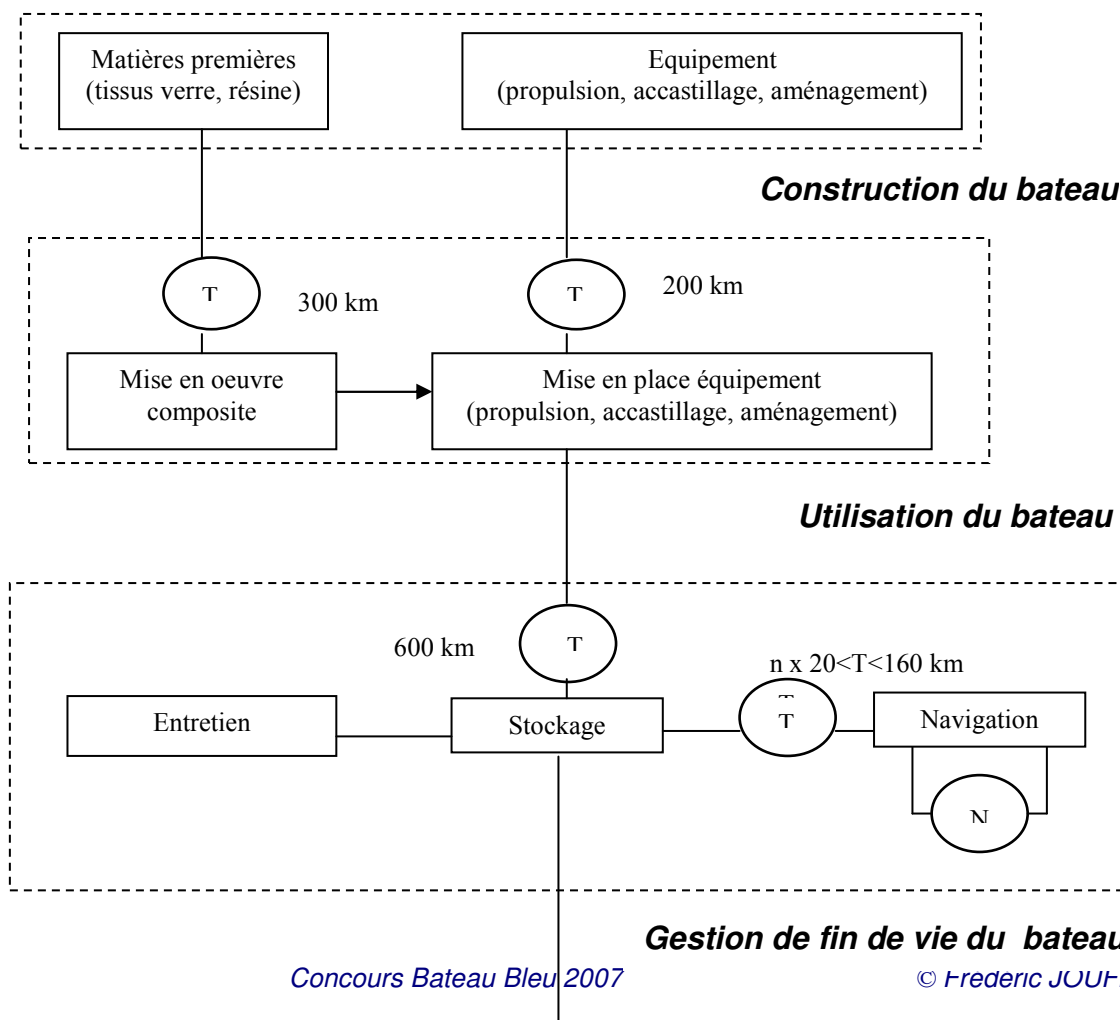
Le système 'bateau de plaisance' peut être découpé selon la structure suivante :

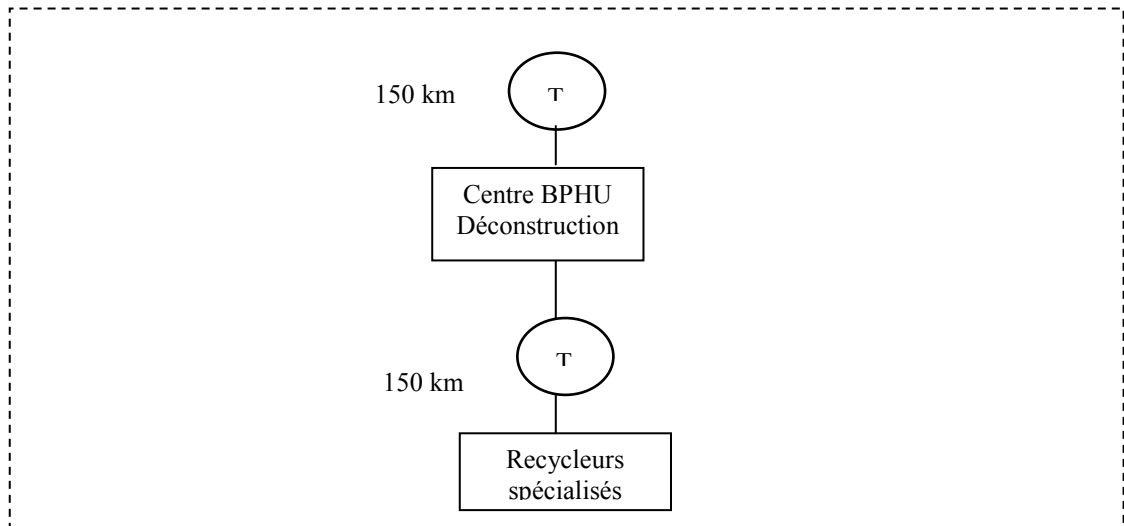
- 1) Production des matières premières et composants utilisés pour fabriquer le bateau (matériaux composite, équipement, accastillage).
- 2) Fabrication du bateau
- 3) Utilisation et entretien du bateau
- 4) Gestion de la fin de vie du bateau : Dans les centres BPHU mis en place par la F.I.N.
- 5) Cycle de vie (fabrication/ utilisation/ fin de vie) des outillages nécessaires à la fabrication du bateau

4.2 Cycle de vie : bateau de plaisance

Le schéma ci-dessous décrit de façon très simplifiée le cycle de vie du bateau de plaisance.

Production des matières premières et composants





4.3. Cycle de vie : Infrastructure de production du bateau.

Les moules de fabrication du bateau sont eux-mêmes fabriqués avec des techniques très similaires à celles utilisées pour construire le bateau : préforme et moules composite. En première approche, les résultats obtenus pour le process principal peuvent donc être transposés au cycle de vie de ces outillages (hormis les impacts navigations sans objet) En pratique, ce cycle de vie 'infrastructure' sera pris en compte directement au niveau des résultats du cycle de vie 'bateau' en considérant pour chaque bateau l'impact environnemental lié à l'amortissement de ces outillages, sur les bases suivantes :

- Préformes et moules utilisent l'équivalent en matières premières de la production de 3 bateaux sortis du moule.
 - Les outillages composites permettent de produire 100 pièces, avant mise au rebut.
- ⇒ Impact environnemental associé =>3/100 de celui du bateau lui-même.

4.4. Délimitation des frontières du système

Liste des étapes du cycle de vie exclues

Les étapes suivantes n'ont pas été prises en compte dans le cadre de cette étude :

- Construction des bâtiments des sites industriels.
- Infrastructures dédiées nécessaires pour pouvoir pratiquer la plaisance (ports, grues, cales de mise à l'eau).
- Recyclage final des déchets en aval de la 'déconstruction', en fin de vie.

Prise en compte de la valorisation énergétique et de la valorisation matière

Aucun scénario de valorisation n'a été pris en compte dans cette étude.

5. Flux et impacts environnementaux étudiés

5.1 Flux environnementaux et indicateurs énergétiques

Nous nous restreignons, dans le cadre de cette étude, à uniquement analyser 2 paramètres environnementaux essentiels du cycle de vie de l'activité 'plaisance légère':

- L'émission de CO₂ provenant de la consommation énergétique tout au long du cycle de vie du bateau (et des outillages associés)
- Les émissions de Composants Organiques Volatils (COV), dues à l'emploi de résine polyester contenant un taux élevé de solvant (styrène). La mise en œuvre des composites utilise par ailleurs une quantité importante d'acétone.

Nous n'avons pas cependant intégré ici les éventuelles émissions de solvants intervenant au niveau des process amont de fabrication des matériaux et au moment de la déconstruction du bateau, avant recyclage.

6. Calcul de l'inventaire : hypothèses de calcul

Ce chapitre présente les hypothèses retenues pour le calcul de l'inventaire d'analyse de cycle de vie.

6.1 Bâtiments chantier.

- La surface de bâtiment nécessaire pour la fabrication est déterminée par l'emprise au sol du bateau

$$S = 5 \times (\text{longueur} \times \text{largeur}) \quad (\text{en m}^2)$$

De cette surface, on peut déduire l'effectif de main d'œuvre (M.O) associé, la densité de personnel au sein d'un bâtiment étant prise comme constante.

- La durée de fabrication est donnée par la formule suivante.

$$D = \text{Coût fabrication (M.O)} / \text{effectif M.O} \times 1.25 \quad (\text{hypothèse : 8 hr par jour}).$$

- Consommation énergétique du bâtiment :

$$C = 100 \text{ kWh/m}^2/\text{an}, \text{ à répartir sur 250 jours ouvrables sur l'année.}$$

- La production de CO₂ associée considérée est la suivante :

$$80\% \text{ chauffage gaz de ville (227g/kWh)} + 20\% \text{ électricité EDF (85g/kWh)}$$

$$\text{soit en moyenne } G = 199\text{g/kWh}$$

La production de CO₂ du bâtiment pour la phase de fabrication sera donc :

$$P = S \times C \times G \times D / 250 \quad (\text{en kg})$$

6.2 Matériaux et équipements

Les émissions de CO₂ par kg de matière utilisée pour la fabrication ont été extrapolées à partir de sources ADEME.

- Tissu de verre : 500g/kg
- Produits polyester:1200g/kg
- Aluminium : 2500g/kg
- Acier/inox/fonte : 700g/kg
- Bois : 50g/ kg

Note : Au vu de l'objectif de l'étude (analyse comparative globale des différents types d'embarcations), les bilans de masse suivants établis pour chacune des embarcations ont été très simplifiés.

	Dériveur/Multicoque léger	Canoeé/kayak	Yole ou barque aviron	Monocoque voile-aviron	Mono/multicoque randonnée	Mono/multi. Croisière	Bateau à moteur léger	Bat.moteur non habitable
Description embarcations								
Longueur (m)	4,7	4,5	4,5	4,55	6,3	7,3	4	4,9
Largeur (m)	1,68	0,7	1,2	1,36	2,5	2,5	1,9	2,1
surface voile (m2)	13			8,5	20	31		
Puiss. moteur thermique(ch)					3	6	15	60
Masse totale	120	27	80	150	250	1799	230	930
Composite	90	25	68	113	180	850	180	610
Tissus de verre	32	9	24	39,55	63	298	63	214
Résine+gelcoat+colle	59	16	44	73,45	117	553	117	397
Acier / inox / fonte (moteur/lest/accastillage)	3			3	25	650	40	180
Aluminium	13	1	2	12	20	50	5	20
Bois & divers	10	1	10	19	19	240	5	120
Tissu voile polyester	4			3	6	9		
Hypothèses fabrication								
Nb unités calcul impact	1	2	1	1	1	1	1	1
M.œuvre fab (heures)	60	15	30	70	120	500	80	400
Effectif M.oeuvre fab= F(S²)	2,5	1,0	1,7	2,0	5,0	5,8	2,4	3,3
Durée fabrication (jour)	3,7	2,3	2,7	5,6	3,8	13,5	5,2	19,1

Table 6/1 Hypothèse bilan de masse et fabrication des différentes embarcations

6.3 Matériaux composites et solvants

- Le matériau composite final de l'embarcation est composé de 35% en masse de tissus et 65% en masse de produits polyester (résine, gel-coat, colles).
- En moule ouvert (stratification par contact), les émissions de styrène représentent 35% de la masse de produit polyester
- La consommation d'acétone est de l'ordre de 20% de celle de résine (100% de solvants).

6.4 Transports pour fabrication

Les différents constituants du bateau sont produits en France.

- Les matières premières sont génériques pour toutes activités (piscines, bâtiment) : transport 300km
- Les équipements sont spéciaux 'marine' ; sites de fabrication à proximité des zones de chantier : transport 200 km
- Les acheteurs habitent partout en France (plutôt près des zones littorales). Livraison 600 km A/R .

Tous les transports sont effectués par camion, les émissions CO2 correspondantes sont évalués de la façon suivante (source Ecobilan) :

- Consommation standard d'un camion de 24 tonnes de charge utile : 38 litres/100km pleine charge.

2/3 de la consommation est fixe, 1/3 est lié à la charge du camion

Le taux de charge moyen du camion est estimé à 70% soit 1 consommation moyenne de 35 litres/100km pour 18 tonnes, soit consommation finale, par tonne= 2 litres/100km

- Emission de CO2 produite par litre de gazole : 2,93kg/litre

6.5 Utilisation

- Nombre de sorties par an: Croit linéairement avec le potentiel d'utilisation.

Hypothèse de base: Pour un kayak, 1 sortie hebdomadaire hors période d'hiver, soit 35 semaines par an.

Le nombre de sorties des autres types d'embarcations en est déduit de la manière suivante

Nb sorties= 35* Potentiel utilisation bateau / Potentiel utilisation kayak.

- Déplacements
 - Le déplacement pour sortie navigation prend toujours en compte celui de l'équipage (1 voiture) ;
 - Transport de l'embarcation : le kayak est transporté à chaque sortie; Le voilier de croisière reste au port et n'est jamais déplacé. Pour les autres embarcations intermédiaires, le transport (pour visiter d'autres plans d'eau) est fonction de la masse du bateau.
- Les déplacements sont effectués avec un véhicule Diesel, les émissions CO2 correspondantes sont évaluées de la façon suivante :
- Equipage : Consommation d'une voiture moyenne soit 6 litres pour 100km
 - Bateau transporté avec la voiture
 - . Remorque : Masse bateau (tonnes) x 6 litres/100km
 - . Toit véhicule (2 kayaks) : 1,5litre/100km
- Navigation: Nous avons affecté pour chaque type de bateau concerné une valeur correspondante estimée de consommation par sortie, entre 0 et 50 litres. Toutes ces embarcations légères sont considérées équipées de moteurs à essence hors-bord.
 - Emission de CO2 produite par litre d'essence : 2,53kg/litre

6.6 Entretien du bateau

- L'entretien du bateau est fait sur son lieu de stockage, à l'occasion de déplacement, pour navigation.
 - Les émissions annuelles pour entretien ont été fixés forfaitairement à
 - 2% des émissions CO2
 - 3% des émissions COV
- générées lors de la phase de fabrication.

6.7. Durée de vie

La durée de vie prise en compte pour l'ensemble des embarcations excepté le kayak est de 20 ans ; de par sa plus grande utilisation, ce dernier subit une usure plus rapide : on considèrera donc pour lui une hypothèse de durée de vie réduite de 10 ans.

6.8. Phase de déconstruction en fin de vie

- Emissions bâtiment : Au vu des données sur les centres BPHU disponibles, elles ont été estimés de la façon suivante :

E= 1/10 des émissions de CO2 durant la phase de fabrication du bateau.
- Transport : La déconstruction en fin de vie est faite dans les centres BPHU régionaux actuellement en cours de mise en place (transport=150km depuis le lieu de stockage du bateau). Les entreprises de recyclage associées sont elles aussi considérées comme étant dans un rayon proche (150 km)

7. Résultats

Rappel : Ils se rapportent aux quantités d'unités fonctionnelles considérées (c'est à dire 1 à 2 bateaux).

Un tableau comparatif est présenté pour chacune des étapes du cycle de vie (fabrication, utilisation, fin de vie) avant l'établissement d'une synthèse générale

	Dériveur/Multicoque léger	Canoé/kayak (2)	Yole ou barque aviron	Monocoque voile-aviron	Mono/multicoque rando	Mono/multi. Croisière	Bateau à moteur léger	Bat.moteur non habitable
1) Mise à disposition matières premières et équipements utilisés dans fabrication bateau								
Matériaux composites								
Verre								
CO2 fabrication (kg)	16	9	12	20	32	149	32	107
CO2 transport (kg)	0,6	0,3	0,4	0,7	1,1	5,2	1,1	3,8
Résine								
CO2 fabrication (kg)	70	39	53	88	140	663	140	476
CO2 transport (kg)	1,0	0,6	0,8	1,3	2,1	9,7	2,1	7,0
Equipement								
CO2 fabrication (kg)	40	5	6	36	76	603	41	182
CO2 transport (kg)	0,4	0,0	0,1	0,4	0,8	11,1	0,6	3,8
2) Fabrication et livraison du bateau								
Surface bâtiment (m2)	39	16	27	31	79	91	38	51
CO2 Energie (kg)	12	6	6	14	24	98	16	78
Mise en œuvre composite								
COV (kg)	32	18	24	40	64	304	64	218
Livraison								
CO2 transport (kg)	2,1	0,9	1,4	2,6	4,4	31,6	4,0	16,3
TOTAL fabrication 1) et 2)								
COV (kg)	32	18	24	40	64	304	64	218
CO2 (kg)	142	61	79	163	279	1571	236	874

Table 7/1 Bilan CO2 et COV Fabrication des différentes embarcations 'navigation à la journée'

	Dériveur/Multicoque léger	Canoé/kayak (2)	Yole ou barque aviron	Monocoque voile-aviron	Mono/multicoque rando	Mono/multi. Croisière	Bateau à moteur léger	Bat.moteur non habitable
3) Utilisation bateau / an								
Nombre de sorties / an	18	35	9	19	12	8	16	11
Distance A/R plan d'eau (km)	80	40	80	80	160	320	80	160
Consom.essence/jour (litres)					2	4	15	50
%sortie transport bateau	70%	100%	80%	70%	50%	0%	70%	30%
litres gazole déplacements / an	92	105	46	100	126	155	89	136
litres essence navigation / an					23	32	239	555
COV entretien	1	1	1	1	2	9	2	7
CO2 entretien	3	2	2	3	6	31	5	17
CO2 déplacements	269	308	135	292	368	454	260	400
CO2 navigation	0	0	0	0	59	82	604	1405
TOTAL utilisation 3)								
COV / an (kg)	1	1	1	1	2	9	2	7
CO2 / an (kg)	271	310	136	295	433	567	868	1822
CO2 direct/sortie (kg)	15	9	15	16	37	70	55	164

Table 7/2 Bilan CO2 et COV Utilisation des différentes embarcations 'navigation à la journée'

	Dériveur/Multicoque léger	Canoté/kayak(2)	Yole ou barque aviron	Monocoque voile-aviron	Mono/multicoque rando	Mono/multi. Croisière	Bateau à moteur léger	Bat.moteur non habitable
4) fin de vie du bateau								
CO2 transport	2	1	1	3	4	32	4	16
CO2 déconstruction	1	1	1	1	2	10	2	8
TOTAL déconstruction 4)								
CO2 (kg)	3	2	2	4	7	41	6	24

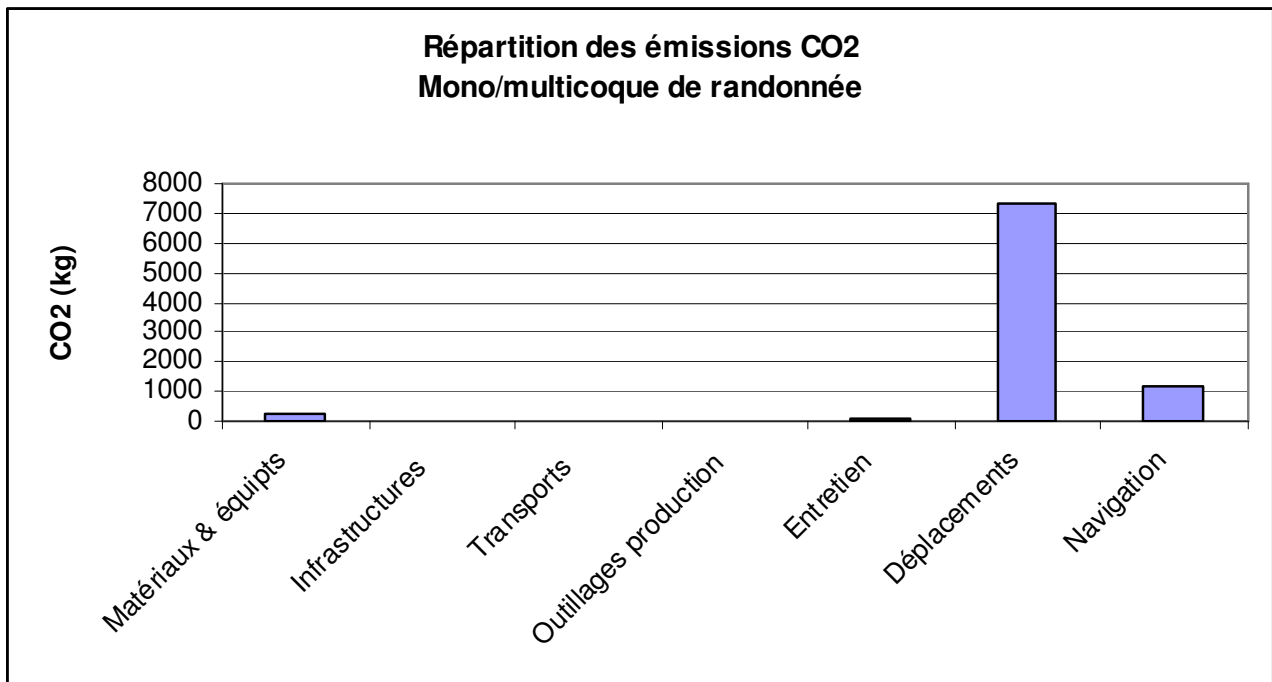
Table 7/3 Bilan CO2 et COV Fin de vie des différentes embarcations 'navigation à la journée'

	Dériveur/Multicoque léger	Canoté/kayak (2 x 2)	Yole ou barque aviron	Monocoque voile-aviron	Mono/multicoque rando	Mono/multi. Croisière	Bateau à moteur léger	Bat.moteur non habitable
BILAN GLOBAL 20 ans								
Matériaux & équipés CO2 (kg)	126	106	70	144	248	1415	213	765
%	2,3%	1,7%	2,5%	2,4%	2,8%	10,9%	1,2%	2,0%
Infrastructures CO2 (kg)	13	13	6	15	26	108	17	86
%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,8%	0,1%	0,2%
Transports CO2 (kg)	6	6	4	8	13	89	12	47
%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,7%	0,1%	0,1%
Outillages production CO2 (kg)	4	4	2	5	9	48	7	27
%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,2%	0,9%	0,1%	0,5%
Entretien CO2 (kg)	57	48	32	65	112	628	94	349
%	1,0%	0,8%	1,1%	1,1%	1,2%	4,8%	0,5%	0,9%
Déplacements CO2 (kg)	5372	6153	2693	5840	7362	9075	5195	7990
%	96,3%	97,2%	95,9%	96,1%	82,3%	69,8%	29,5%	21,4%
Navigation CO2 (kg)	0	0	0	0	1177	1633	12075	28096
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,2%	12,6%	68,6%	75,2%
TOTAL CO2 (kg)	5577	6329	2808	6076	8946	12996	17614	37361
TOTAL COV (kg)	51	57	39	65	103	486	103	349
Nb sorties sur 20 ans	352	700	180	376	233	161	318	222
TOTAL CO2 / sortie (Kg)	16	9	16	16	38	81	55	168
TOTAL COV / sortie (Kg)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	3,0	0,3	1,6

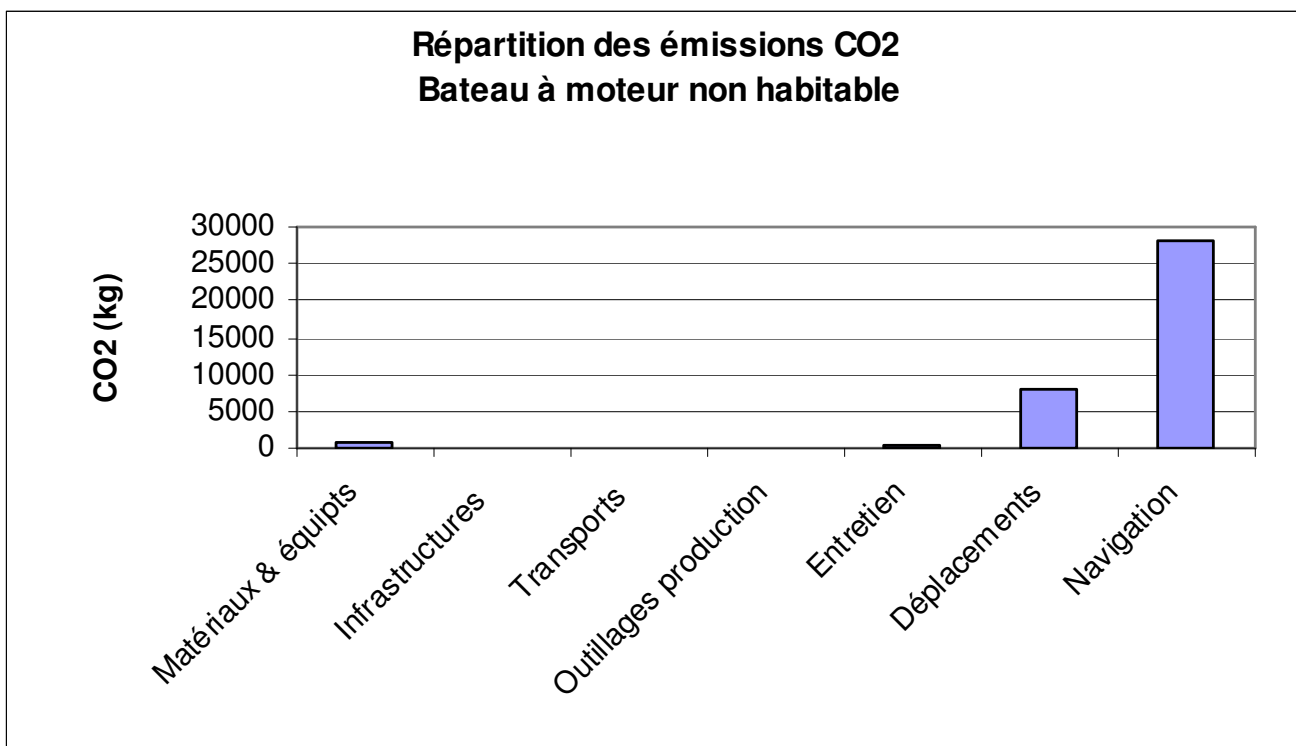
Table 7/4 Bilan CO2 et COV Synthèse cycle de vie des différentes embarcations 'navigation à la journée'

7.1 Exploitations des résultats

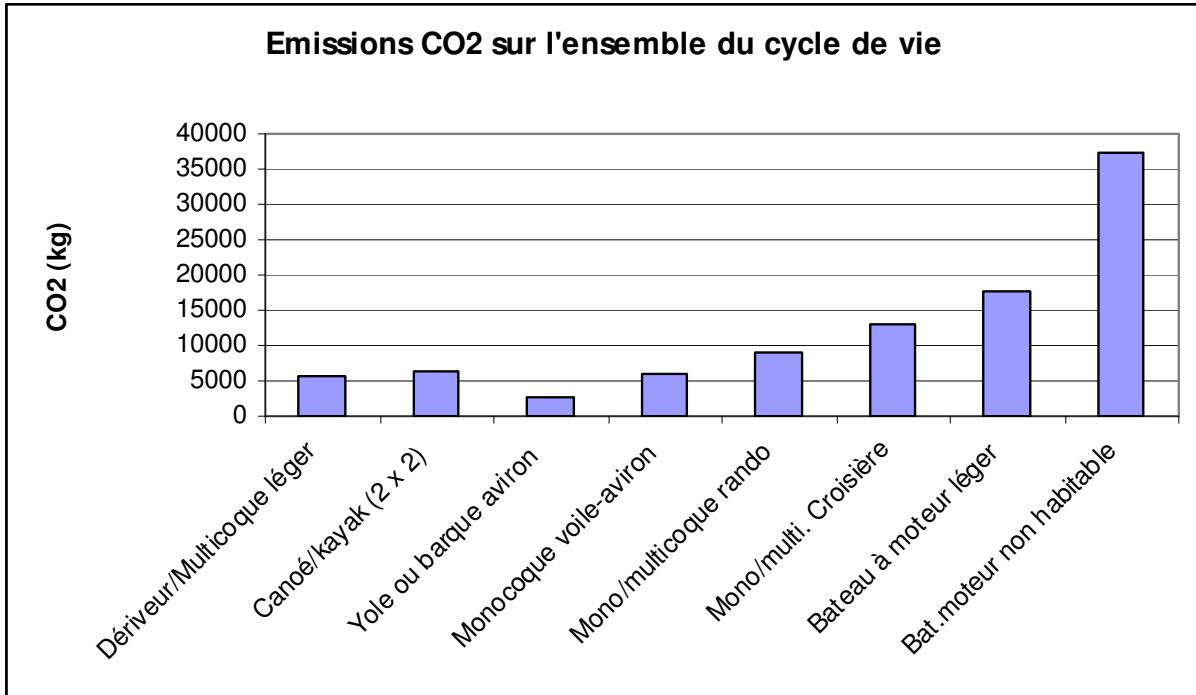
Le premier point immédiatement mis en évidence par les résultats obtenus est la prédominance, sur l'ensemble du cycle de vie, de la production de CO2 liée à l'utilisation du bateau, comme le montre ci-dessous l'exemple du voilier de raid.



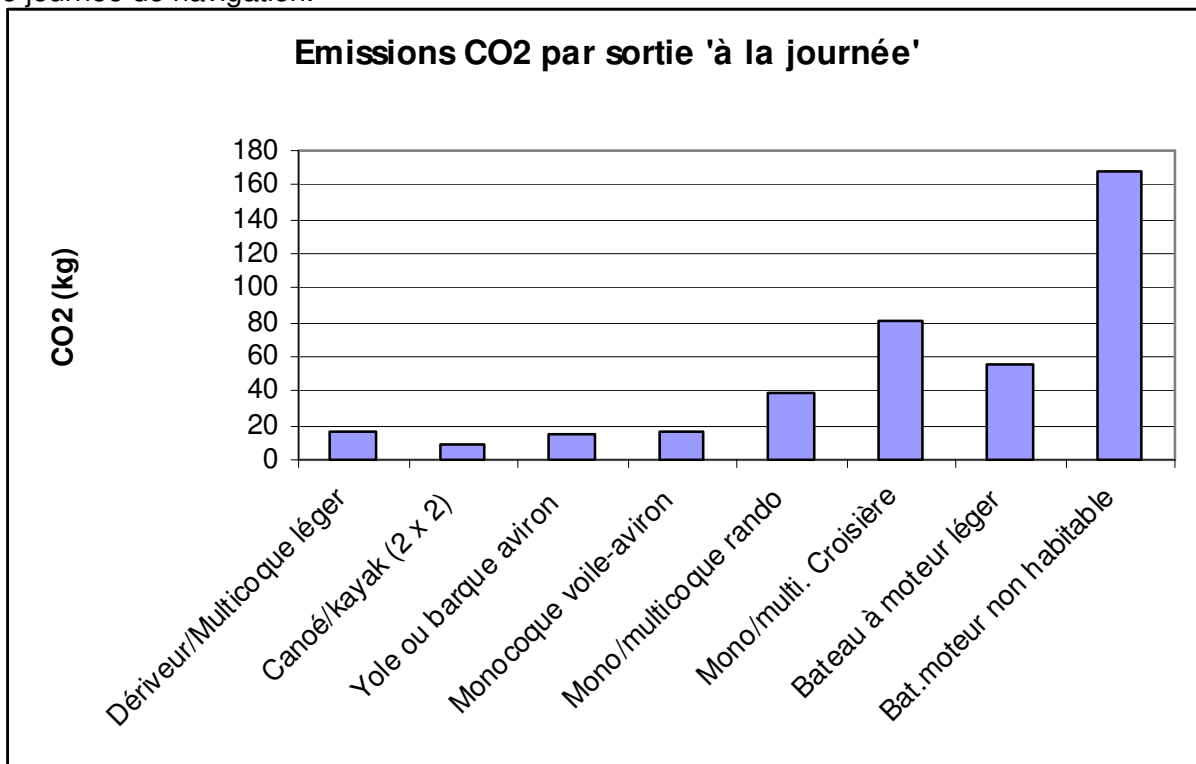
Quel que soit le type d'embarcation utilisé, l'ensemble (déplacements+navigation) représente toujours plus de 85% des émissions, avec cependant des écarts importants constatés en volume absolu. Les émissions de CO2 dues aux déplacements restent globalement assez stable (entre 3 tonnes et 9 tonnes sur 20 ans suivant les bateaux) de par le modèle employé (on va plus souvent naviguer si le plan d'eau est plus proche). La grande variation relevée des émissions totales (cf page suivante) est due à la consommation d'essence du bateau en navigation, comme le montre l'exemple ci-dessous du bateau à moteur non habitable.



Les bateaux utilisant la propulsion mécanique sont donc très pénalisés comme le montre la figure ci-dessous.



Ceci apparaît encore plus significativement quand on examine les émissions de CO2 correspondant à une journée de navigation.



Les résultats de la yole-aviron sont dégradés par sa plage d'utilisation météo réduite (33% seulement). A l'inverse, les bons résultats du kayak traduisent l'intérêt d'un bateau léger, permettant une réelle navigation de proximité.

Les ratios d'impact écologique entre les 2 extrêmes sont importants : La sortie en bateau à moteur non habitable 'coûte' près de 19 fois plus de CO2 que son équivalent en kayak de mer.

Note : Le coût global CO2 d'une sortie étant essentiellement du dans tous les cas au coût 'direct' de la sortie, les résultats obtenus sont peu sensibles, dans une certaine mesure, au nombre de sorties effectuées dans la réalité.

8. Perspectives d'amélioration

Les résultats précédents mettent clairement en évidence que le facteur essentiel de production de CO2 par les activités de plaisance légère est lié aux déplacements associés à l'utilisation du bateau

- Pour se rendre au plan d'eau
- Pour naviguer (motonautisme) .

Sans négliger pour autant l'impact des phases de fabrication / fin de vie du bateau, nous allons tout d'abord analyser cet élément primordial.

8.1 Période d'utilisation du bateau

Pour espérer un gain significatif sur les émissions, à volume d'activité nautique constant, il faut agir dans les 2 directions possibles :

Réduction de l'impact des déplacements à terre de l'équipage:

- En limitant la production de CO2 par véhicule individuel, et l'utilisation de ce véhicule au profit de transports en commun. Ces problématiques sont communes à l'ensemble des activités humaines.
 - L'usage des transports collectifs atteint cependant rapidement ses limites pour une pratique par nature individuelle, répartie sur un très vaste territoire. Cela veut dire que le bateau doit toujours être stocké sur le lieu de navigation (à terre ou sur l'eau), ce qui demande des infrastructures adaptées, et restreint le choix dans la diversité du plan d'eau, et donc potentiellement un peu l'intérêt de la navigation. De plus, la durée du transport s'en trouvera probablement allongée de par les changements nécessaires (prendre le train, puis le bus).
 - La réduction de la vitesse de transport amène de même un allongement de la durée de ce dernier.

Ces éléments concourent à une diminution de la pratique (donc des déplacements...) mais ce n'est pas l'objectif recherché !

- En réduisant la distance au plan d'eau (idéalement, une distance inférieure à 10 km permet même de s'y rendre en vélo quand le bateau est stocké sur le lieu de navigation...). Suivant notre modèle, elle augmente la pratique d'une activité par diminution du temps d'accès associé.

Si cette idée semble applicable dans certaines régions à la géographie bien adaptée (Pays-Bas...), elle est a priori difficilement transposable dans notre pays. Pourtant, à bien y regarder, la France regorge de plans d'eau intérieurs de proximité (canaux, rivières) qui pourraient faire l'affaire... si l'on pouvait mettre à l'eau depuis une berge, n'importe où. Le moyen d'y arriver facilement est d'utiliser un bateau pouvant se passer d'infrastructures (plage ou plan incliné): seuls les canoés et kayaks, très légers et pouvant être mis à l'eau parallèlement à la berge répondent à cette spécification. La légèreté, qui est la condition absolue de ce type d'utilisation, présente de plus l'avantage significatif de réduire en proportion les émissions lors de la fabrication.

Réduction de l'impact de la navigation elle-même

- La propulsion mécanique devra, comme pour le transport terrestre, effectuer sa révolution, pour éviter la combustion d'énergies fossiles. Dans la situation actuelle, la réduction de la vitesse et l'utilisation de formes adaptées correspondantes (carènes à déplacement ou semi-planantes) , ou bien le développement de technologies ayant fait leurs preuves (catamaran à foil 'CATAFOIL' de Paul LUCAS) sont des solutions immédiatement disponibles. Ces voies restent pour le moment peu approfondies car demandant un changement culturel de la part de l'utilisateur. La mise en place prochaine d'une éco-taxe progressive sur les carburants pourrait cependant rapidement changer la donne.
- La recherche de légèreté des embarcations amène aussi une réduction en proportion de leur consommation d'énergie pendant la navigation.
- Pour les embarcations rentrant dans le cadre de notre cas d'étude (navigation à la journée), cette recherche de légèreté associée à la réduction de la vitesse rend viable la propulsion électrique avec parcs de batteries rechargées quotidiennement à terre ou/et par énergie solaire, si l'on n'est pas trop

ambitieux sur les performances : Le ratio «énergie disponible /masse » de ce système énergétique est en effet bien en deçà que celui du moteur thermique conventionnel.

- La recherche extrême de légèreté permet aussi de se satisfaire de la simple propulsion musculaire : L'exemple concret d'application est le kayak qui est celui qui produit le moins de CO₂ par sortie, et est de loin l'embarcation la plus utilisée dans notre modèle. En pratique cependant, l'utilisation de la seule force musculaire pour propulser un bateau trouve vite ses limites de par la condition physique nécessaire dont devra disposer l'utilisateur, surtout quand le vent monte. Dans ces conditions, il devient dans tous les cas bien plus efficace d'utiliser l'énergie vélique.
- Dès lors, pourquoi ne pas imaginer une embarcation qui garderait toutes la fonctionnalité du kayak (accès à n'importe quel plan d'eau de proximité, de par sa légèreté et son étroitesse ; propulsion musculaire) mais combinerait les possibilités d'un voilier ? On élargirait par conséquent la plage d'utilisation du bateau et donc son potentiel d'utilisation.

Note : Cette approche rejoint sans doute les préoccupations des premiers hommes sur leurs pirogues.

8.2 Fabrication et fin de vie du bateau.

Plusieurs actions sont possibles pour réduire l'impact écologique des phases de production et de gestion de fin de vie des embarcations de plaisance.

Lors de la fabrication

- Réduction de la masse des bateaux, les émissions étant directement proportionnelles à la quantité de matériaux employés:

Ceci peut être obtenu de 2 façons différentes :

- Amélioration de la qualité de construction par adoption de matériaux ou procédés de fabrication plus performants; en particulier, utilisation de matériaux sandwichs et de techniques de mise en œuvre du composite en moule fermé : RTM light et infusion. Celles-ci sont aujourd'hui économiquement rentables en production pour des pièces de taille moyennes (quelques m²).
- A la conception, par recherche de diminution de la surface développée des bateaux.
- Réduction des émissions de COV par kg de résine utilisé

Plusieurs moyens d'action sont identifiés :

- La généralisation des techniques de mise en œuvre en moule fermé citées ci-dessus permettra aussi de quasiment supprimer les émissions de COV styrène pendant la polymérisation des grosses pièces (coques et pont), au profit direct de la santé des opérateurs.
- Pour les opérations de stratification restant au contact :
 - Utilisation de résines à bas taux de styrène développées par les fabricants.
 - Mis en place de systèmes de filtration des solvants au niveau des bâtiments, avant rejet dans l'atmosphère.

En fin de vie

- La mise en place de la filière BPHU constitue une avancée significative dans le gestion de la fin de vie des embarcations de plaisance. Cependant, après le tri pour recyclage des différents composants du bateau lors de la déconstruction, la question du traitement des déchets des matériaux composites verre-polyester reste aujourd'hui mal résolue : Leur valorisation énergétique par combustion peut poser un vrai problème de pollution (émission de dioxines) ; le seul débouché possible identifié en valorisation matière est actuellement l'utilisation des granulats obtenus par broyage, sous forme de charges à très faible valeur ajoutée pour résines, bitumes et ciments.
- Si la recherche de solutions de matériaux bio-composites entièrement recyclables pour le nautisme avance (par exemple projet NAVECOMAT du pôle mer Bretagne), celles-ci ne seront sans doute pas disponibles de manière industrielle avant de nombreuses années.
- Une voie intermédiaire prometteuse 'd'attente' est le développement de l'utilisation de matériaux thermoplastiques, qui présentent beaucoup plus de possibilités en terme de recyclage en cycle

ouvert. Déjà largement employés (polyéthylène) pour les petites embarcations (canoés & kayaks, dériveurs...) pour lesquelles ils supplantent, en terme de volume de production,, le composite thermo-durcissable, leur application sur des unités plus grandes passera par l'utilisation de vrais matériaux composites renforcés (Twintex, par exemple), à même de procurer la rigidité nécessaire.

- L'utilisation des matériaux composites est aujourd'hui presque devenue la norme, pour la production industrielle d'unités de plaisance. Dans le cadre d'une construction amateur, la problématique est tout autre et l'adoption d'une technique de fabrication de type contreplaqué présentera de nombreux avantages en terme d'émission de CO2 et COV :
 - de par la nature du matériau principal employé (bois).
 - de par l'économie d'outillages associés qu'elle permet (pas de réalisation de moule nécessaire).

9. Une proposition de conception alternative : **WINDYAK**

Ce chapitre présente la démarche de conception adoptée et le travail effectué sur le thème évoqué plus haut de l'embarcation hybride voile-kayak. Le prochain axe majeur de développement de notre projet est la réalisation d'un modèle grand public construit de manière industrielle en utilisant des matériaux plus facilement recyclables que les résines thermo-durcissables.



9.1 Le concept **WINDYAK**

WINDYAK est un concept innovant de trimaran repliable sur l'eau en kayak.

Il associe les sensations d'un voilier multicoque et, grâce à sa légèreté, la souplesse d'utilisation d'un kayak. La double pratique qu'il propose préfigure la plaisance légère de demain. Manœuvrable en solo comme en double, transportable sur voiture et monté en quelques minutes sans outil, son terrain de jeu ne se limite pas à la mer et aux 'grands' lacs; il est l'instrument idéal pour aller découvrir, comme en kayak, des plans d'eau insolites inaccessibles aux autres voiliers : rias, rivières et canaux par exemple.

WINDYAK, avec sa double propulsion voile et pagaie, investit le créneau du bateau propre. De par son poids léger, son impact écologique est limité à la fabrication et au transport, par rapport aux autres voiliers. Dans le contexte du problème global de réduction des émissions de CO₂, proposer une embarcation offrant de multiples possibilités sur tous les plans d'eau y compris ceux intérieurs, peut aussi être un moyen d'inciter les gens à limiter leurs déplacements de loisirs.

Le projet **WINDYAK** a été lancé il y a 4 ans, avec le développement de plusieurs prototypes. Le soutien d'OSEO-Anvar a permis de faire réaliser une étude de marché quantitative menée en Septembre 2006 au Grand pavois de La Rochelle auprès de 350 visiteurs. La présentation de modèles de développement à cette occasion a permis d'avoir les réactions du public par rapport au concept et à la définition technique. L'étude a confirmé un vrai désir pour un produit permettant une bonne pratique des deux activités voile et kayak; un fort potentiel doit logiquement aussi exister dans les pays de grands espaces sauvages et de lacs, en Amérique du Nord mais aussi en Europe du Nord y compris Pays-Bas. Les responsables du projet souhaitent maintenant développer des partenariats et contrats de licences avec des industriels pour fabrication et commercialisation des différents produits imaginés. Le concept est actuellement décliné en 3 tailles différentes, entre 4,2m et 5,9m ; un kit démontable pour kayaks de mer classiques est par ailleurs en cours de mise au point.

Pourquoi **WINDYAK ?**

A l'origine du projet, il y a le besoin de disposer d'un seul bateau adapté à des conditions météo différentes, pour rester le moins possible bloqué à terre. Le succès du kayak de mer traduit une demande pour la balade nature facile sur l'eau; le kayak est parfait pour se déplacer par temps calme, mais son utilisation est en pratique vite limitée pour un public peu entraîné. Dès que le vent se lève, on va bien plus vite, et de façon plus amusante et reposante à la voile.

L'objectif du concept est donc d'avoir une embarcation :

- qui garde la fonctionnalité du kayak et l'avantage de sa facilité d'emploi,
- tout en offrant aussi la fonction et le plaisir de la vitesse sans effort du voilier léger.

L'autonomie obtenue est un réel facteur de sécurité, et augmente beaucoup les possibilités en randonnée par rapport au simple kayak.



Un ambitieux cahier des charges assuré par une conception spécifique

Loin de la simple adaptation d'une voile 'mouchoir de poche' sur un kayak existant, **WINDYAK** est une conception spécifique, basée sur les choix architecturaux suivants :

- Une configuration de trimaran à flotteurs courts, avec un bras de liaison unique, est la plus légère pour assurer la stabilité nécessaire à la voile tout en conservant une coque fine, pour la propulsion à la pagaie et la manutention. Une largeur importante (3,5 à 4,8 mètres suivant les modèles) fournit, associée à des flotteurs de volume convenable (30 à 70 litres), un couple de redressement suffisant pour la sécurité
- La coque centrale possède une longueur et un volume suffisants pour atteindre des performances correctes (voire même surprenantes, pour le grand modèle). Les formes sous la flottaison présentent des sections transversales en arc de cercle ; celles-ci donnent une carène très ronde potentiellement rapide, limitent la surface mouillée, mais surtout apportent une rigidité intrinsèque au bordé par effet de voûte (pas de zone plate nécessitant un raidissage complémentaire). La largeur à la flottaison est imposée par la stabilité statique nécessaire en mode kayak seul.
Au niveau de la flottaison, ces œuvres vives sont connectées par un bouchain marqué à une muraille très verticale. Le but est là d'avoir la largeur minimale au pont afin de ne pas gêner le coup de pagaie.).
- Les flotteurs de par leur longueur limitée présentent une traînée importante : Les meilleures performances sont obtenues quand le bateau navigue peu gîté, presque uniquement sur la coque centrale. L'équipage peut dans ce but se mettre au rappel, en utilisant le bras de liaison. Les formes des flotteurs sont conçues pour le degré correspondant relativement élevé de vitesse auxquels ils fonctionnent: Entrées d'eau fines et sorties d'eau larges et tendues, muraille droite et fond en V pour limiter la traînée quand le flotteur frôle l'eau. Relativement ouvert, ce fond en V, grâce à une assiette marquée sur l'arrière, génère théoriquement une légère portance dynamique, pour compléter la poussée archimédienne limitée du flotteur. Ces formes donnent aussi un volume maximal pour un franc-bord limité, nécessaire pour conserver une esthétique acceptable en navigation replié.
- L'aménagement auto-videur du pont "sit-on-top" (sans trou d'homme) est rassurant pour le néophyte, s'adapte au nombre de personnes à bord, et permet de contrôler la gîte et l'assiette à la voile par déplacement de l'équipage.

Le concept du trimaran-kayak est accessible, comme le kayak, à certaines personnes handicapées. Pour le transport, le poids réduit de la coque permet de la hisser aisément. L'ensemble du bateau tient sur des barres de toit standard (largeur < 1m) sans encombrer l'intérieur du véhicule ni besoin de remorque. Le faible encombrement a aussi tout son intérêt au moment du stockage.

Surtout, **WINDYAK** est dépliable –et repliable- sur l'eau en quelques minutes pour passer de la configuration kayak monocoque à celle du voilier trimaran.

L'innovation majeure : un bateau facilement dépliable et repliable sur l'eau

Cette fonctionnalité unique permet à **WINDYAK** de s'adapter en temps réel aux conditions de la navigation, et d'accéder comme un kayak à tous les plans d'eau: nul besoin de plage pour embarquer, la moindre berge ou un ponton suffit; le gréement peut être affalé en quelques secondes pour passer sous un pont.

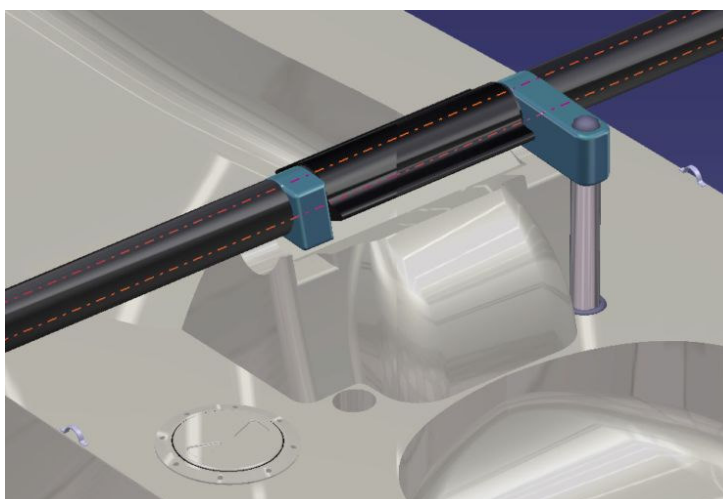
Avec les kits trimarans actuels pour kayaks existants, il faut choisir avant le départ le mode de navigation du jour (tri ou kayak); si l'on part en kayak, il reste le problème à régler du stockage en sécurité à terre des bras, flotteurs et gréement. Avec **WINDYAK**, on embarque tout à bord, sans se poser de questions.

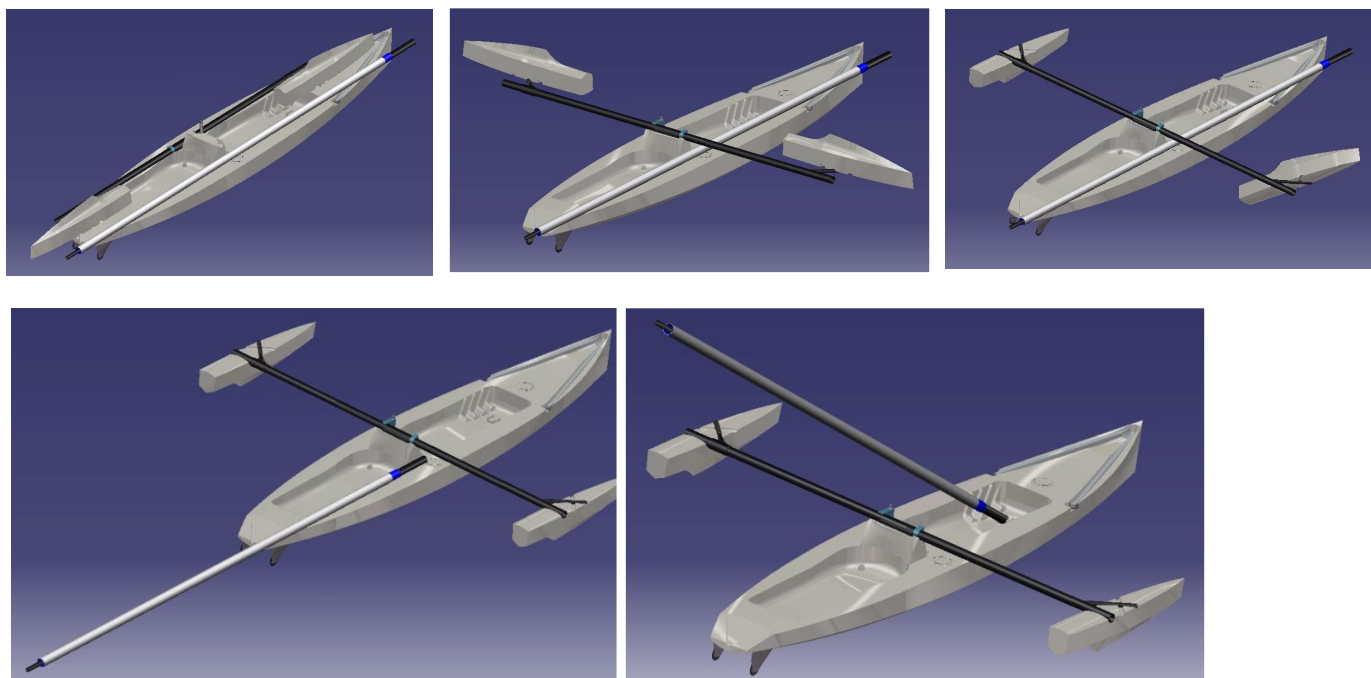
La configuration repliée a l'encombrement d'un kayak :

- Gréement et bras de liaison sont disposés symétriquement de chaque côté des cockpits, proches du corps du pagayeur et suffisamment bas, pour ne pas gêner le coup de pagaie.
- Les flotteurs sont placés aux extrémités, alignés avec la coque.

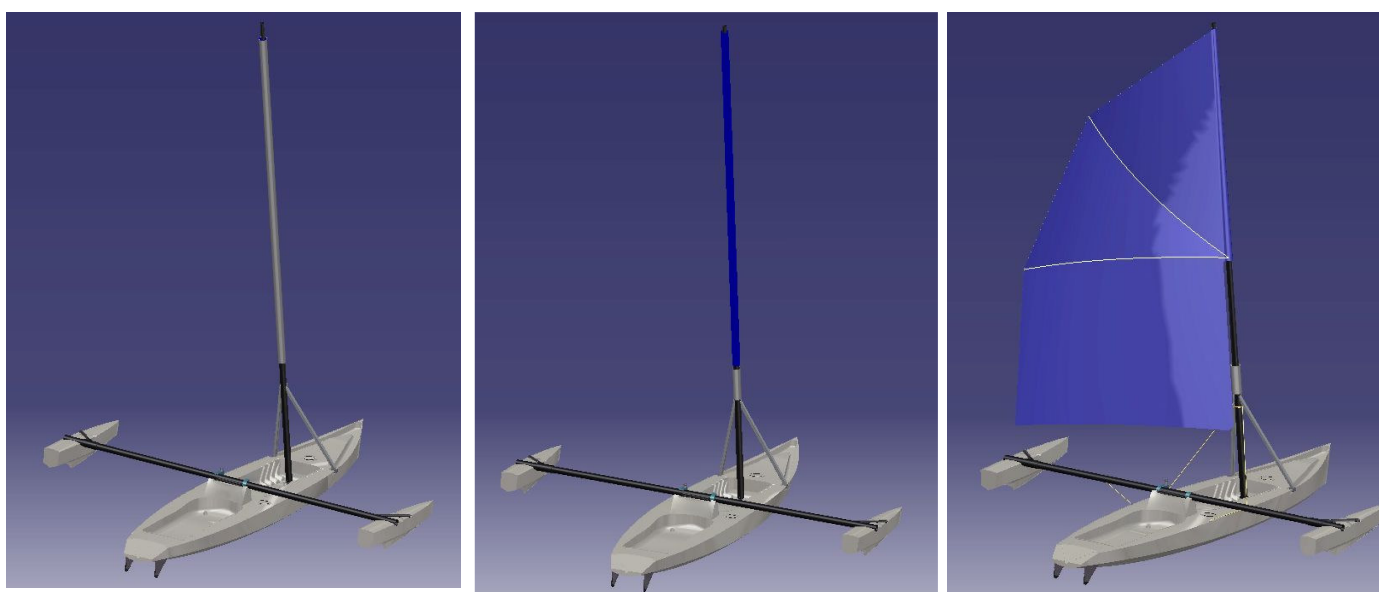


Le déploiement est réalisé facilement par un ensemble breveté (USA, Canada, Europe) de mécanismes simples : quelques rotations de pièces et tractions sur des cordages suffisent pour mettre en place et fixer le bras de liaison et les flotteurs en position stable trimaran. Le bras de liaison est d'abord déployé par rotation et translation verticale simultanée suivant cet axe, afin de l'amener à une hauteur suffisante pour ne pas taper dans le mer à la voile. Un équipier peut alors sans problème se redresser pour fixer le bras à la coque puis déployer les flotteurs : la stabilité est déjà plus importante, l'ensemble bras+flotteurs, de par son inertie, jouant le rôle d'un balancier





Une fois les flotteurs en position, il est ensuite possible, de redresser et fixer contre un étambrai amovible le mat non haubané, articulé à sa base sur le pont. Le grément, de conception spécifique et breveté, est un compromis entre les performances, et les exigences de montage rapide et de stockage à bord en mode kayak replié : La voile entièrement lattée peut être repliée et ferlée en éventail dans une chaussette hissée au moyen d'une drisse. Une fois cette chaussette affalée, on dispose d'une surface propulsive de 6 à 10m².



Les solutions développées trouvent aussi tout leur intérêt pour le transport, le stockage en local fermé mais aussi pour un montage encore plus rapide depuis le toit de la voiture. En quelques minutes, le bateau sera prêt à partir naviguer, n'importe où.

L'innovation naît d'un autre regard

Le concept **WINDYAK** est pour son créateur Frédéric JOUFFROY, ingénieur R&D dans l'industrie spatiale, l'aboutissement logique de 30 ans de navigations diverses, dont en particulier, en 2000, une traversée Antibes-Calvi en kayak de mer avec beaucoup de vent ! Mais le bateau est aussi le fruit de l'échange poursuivi depuis 3 ans avec un maître voilier, Philippe BUSSIÈRE, possédant la même double culture nautique de la voile et du kayak. Convaincus de l'intérêt de cette approche, ils souhaitent aujourd'hui faire partager largement cette nouvelle pratique.

9.2 Grand WINDYAK

Un trimaran performant toujours facilement transportable.



L'application originelle du concept WINDYAK

Ce bateau a été conçu initialement comme une transposition à la propulsion voile-pagaie du concept habituel voile-aviron; l'objectif visé était de proposer une embarcation pour la randonnée nautique, plus rapide à la voile comme à la propulsion musculaire, gardant toute la fonctionnalité du kayak et sa facilité, en terme de préparation, stockage, transport, et mise à l'eau. La réponse est vite devenue évidente :

- une coque étroite pour être léger et pouvoir pagayer correctement est la garantie de bonnes performances lorsqu'il faut se déhaler quand le vent manque;
- une configuration trimaran est alors nécessaire pour retrouver une bonne stabilité sous voile,
- un bateau repliable sur l'eau permet de garder tous les usages et les avantages du kayak.
- une embarcation biplace est logique en randonnée.

Restait alors qu'à trouver les solutions techniques pour tenir ce cahier des charges, en tâchant de rester le plus simple possible.



Construit avec un procédé d'infusion (technologie SORIC), le bateau, une fois mis à l'eau, a montré de surprenantes possibilités à la voile comme à la pagaie, se montant très tolérant à la charge pour passer un après-midi en famille. Ayant la longueur habituelle d'un kayak de mer biplace, il est transportable sans problème sur véhicule break ou petite remorque, et possède une bonne capacité de rangement et chargement pour la randonnée.



Longueur coque :	5,89m
Longueur flottaison :	5,85m
Bau coque centrale :	0,8m
Largeur déployé :	4,84m
Tirant d'eau :	0,14/0,8m
Longueur flotteur :	1,5m
Volume flotteur :	70 litres
Surface de voilure :	9,5m ²
Poids total :	74 kg
Coque centrale :	48 kg
Bras+flotteurs :	17 kg
Gréement :	9 kg
	coques fibre, bras alu, mat carbone

Les moules majeurs sont disponibles, quelques évolutions sont prévues pour prendre en compte les récentes améliorations apportées au concept.

9.3 Kit **WINDYAK** repliable pour kayak de mer.

La solution légère pour les kayakistes en manque de voile.



Le désir implicite de beaucoup de kayakistes de mer

Pour se balader sur l'eau, le kayak de mer séduit année après année un public de plus en plus large, de par sa facilité d'usage et le contact direct avec la nature qu'il permet. Cependant, quand il y a du vent, il est souvent frustrant pour le pagayeur d'être dépassé par divers engins à voile qui vont alors bien plus vite sans effort.

Faire de la voile avec un kayak, un canoë, ou une pirogue, l'idée est loin d'être nouvelle... elle vient même de la nuit des temps. Elle répond au besoin de s'économiser et en même temps de trouver de nouvelles sensations, en utilisant un autre mode de propulsion bien plus adapté aux conditions météo.

Avoir une voile sur son kayak permet donc d'aller plus loin en randonnée, mais les solutions existantes sont rarement satisfaisantes:

- Le simple mouchoir de poche rapporté sur le pont est peu performant voire dangereux (un kayak n'a que très peu de stabilité transversale)
- Le kit trimaran traditionnel demande la plupart du temps de modifier le kayak (contraintes structurelles), et est souvent lourd (+ 20 à + 30 kg) et long à mettre en place. Une fois arrivé au bord de l'eau, s'il n'y a pas de vent, se pose alors la question de que faire de l'ensemble de l'attirail si l'on veut alors profiter des sensations du simple kayak plus léger. De par la présence des bras et flotteurs déployés, on perd aussi les avantages du kayak pour :
 - Embarquer depuis un quai ou une berge, interdisant de fait l'accès à de nombreux plans d'eau.
 - Passer dans un trou de souris, ou même sous un pont (gréement généralement non repliable).
 - Remonter efficacement directement contre le vent à la pagaie (à la voile, l'angle de remontée et la vitesse sont rarement bons): La traînée des bras de liaison et du gréement sont alors de vrais handicaps, d'autant plus que sur certains systèmes, la présence du bras gêne le pagayage.
- Le cerf-volant de petite taille adaptée au kayak est une alternative élégante qui possède beaucoup d'avantages (poids, encombrement) mais ce n'est plus vraiment de la voile traditionnelle. Elle n'est pas si facile à utiliser, et pose un vrai problème de sécurité (risque de se faire soulever par l'aile).

La technologie **WINDYAK au service du VTT de la mer**

les innovations du concept **WINDYAK** (déploiement rapide sur l'eau du bras de liaison et des flotteurs, gréement repliable et ferlable dans une chaussette) ont été reprises pour obtenir un petit kit trimaran repliable le plus léger possible, gardant toute l'usage et la légèreté du kayak de mer.



La conversion entre les 2 modes de navigation s'effectue sur l'eau sans difficulté en moins de 3 minutes pour s'adapter aux conditions rencontrées. Les flotteurs sont de volume et longueur réduits pour avoir une esthétique et un fardage acceptables en configuration repliée, et respecter l'objectif de légèreté recherchée: les efforts mécaniques sont limités et le système reste facile à mettre en place car montable sur un kayak de mer sans modification (renforcement) de ce dernier.

C'est donc, dans l'esprit, une solution intermédiaire, compromis entre la petite voile et le vrai lourd kit trimaran, permettant de conserver la facilité d'utilisation du kayak, mais aussi de se faire plaisir à la voile. Le kit est basé sur un module central supportant les fonctions 'bras de liaison' et 'gréement', et fixé par boulonnage en 4 ou 6 points aux inserts standard du kayak. L'implantation du module sur le kayak est donc spécifique du modèle. La masse totale du kit est de 15 kilogrammes, et bras de liaison, flotteurs et gréement peuvent être désolidarisés du kayak en quelques secondes. On conserve donc le hissage facile de la coque du kayak sur le toit d'une voiture, avec un léger surplus de poids (3 à 4 kg environ).

Le kit est actuellement monté sur un modèle Skyros XL prêté par le constructeur Polyform. Sur ce bateau, il n'y a pas de gouvernail, mais la pagaie fait parfaitement l'affaire, en la disposant latéralement la plus en arrière possible comme sur les bateaux vikings : Le système est donc potentiellement adaptable à tous les kayaks de mer.



Un vrai safran sur palonnier sera néanmoins plus confortable et offrira la possibilité de barrer et de régler simultanément l'écoute.

Le bateau a déjà été essayé en mer par un bon force 3, et le comportement obtenu est satisfaisant : il remonte convenablement au vent grâce aux ailerons montés sur les flotteurs, et marche vite au portant.

Les mois à venir vont être consacrés à l'optimisation et simplification du kit **WINDYAK** (flotteurs et ailerons, emplacement du bras de liaison, taille du mat et de la voile, bipode) avant de le proposer au public.



Longueur coque kayak:	5,30 m
largeur coque kayak:	0,58 m
Poids kayak:	23kg
Caractéristiques kit prototype	
Largeur déployé:	3,05m
Longueur flotteur :	1,3m
Volume flotteur :	20 litres
Surface de voile :	2,8m ²
Poids total :	15 kg
Module central + bipode	4 kg
Bras+flotteurs :	8 kg
Gréement :	3 kg
coques fibre, bras alu, mat fibre	

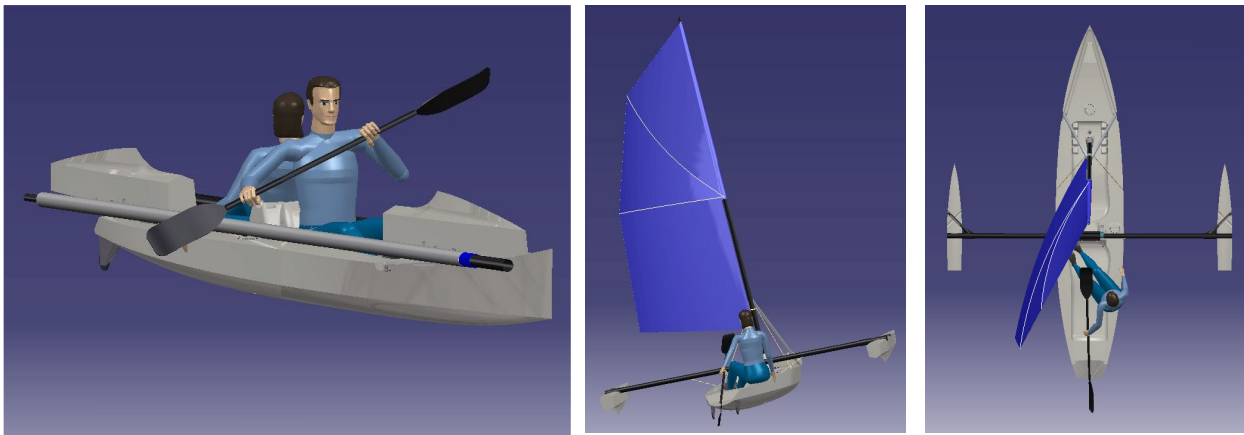
.9.4 Little **WINDYAK**

Le bateau grand public à tout faire

Conception générale

Little WINDYAK est le dernier-né de la famille, et l'application 'taille minimale' du concept **WINDYAK** pour un large public; un bateau de loisir à tout faire accessible au plus grand nombre, prévu pour passer une journée au bord de l'eau en famille. La facilité d'emploi pour tous, à la voile comme en kayak, la recherche d'un coût de revient limité, et la limitation de l'impact environnemental ont été les guides de la démarche de conception.

- Une construction en polyéthylène (ou avec un autre matériau thermoplastique) est incontournable pour la coque centrale et les flotteurs dans le cadre d'une production en grande série. Elle offre un avantage incontestable par rapport au composite thermo-durcissable en terme de recyclage en fin de vie. La taille limitée (4,2m) permet de conserver un poids de coque raisonnable (32 kilos), un chargement facile et un transport possible sur presque n'importe quelle voiture.
- Dans cette dimension, il n'est pas possible, compte tenu de l'encombrement des flotteurs en mode replié, d'aménager des cockpits pour deux pagayeurs. L'idée a donc été d'imaginer un bateau « 1 pagayeur + 1 passager » correspondant bien à l'utilisation qui est généralement faite de ce genre d'embarcation grand public : Il s'agit d'embarquer, pour une heure de balade en kayak, un équipier léger < 70kg qui ne souhaite pas forcément pagayer.
 - En mode replié 'kayak', chaque équipier aura un flotteur entre les pieds. Le support central de bras situé derrière le kayakiste constitue un dossier pour le passager, confortablement installé dans un cockpit en creux, orienté vers l'arrière.
 - A la voile, on navigue à 2 sans problème : le passager s'installe dans le cockpit avant ou sur le bras et le barreur recule dans le cockpit arrière, il est toujours possible de pagayer dans cette configuration pour se sortir d'un trou d'air. La longueur de coque reste suffisante pour avoir de bonnes sensations à la voile en solo, avec une voile d'environ 7 m². Pour la simplicité d'utilisation, la fonction anti-dérive est assurée par des ailerons intégrés aux flotteurs. Ils permettent de pratiquer un près convenable et de 'beacher' dans précaution particulière.

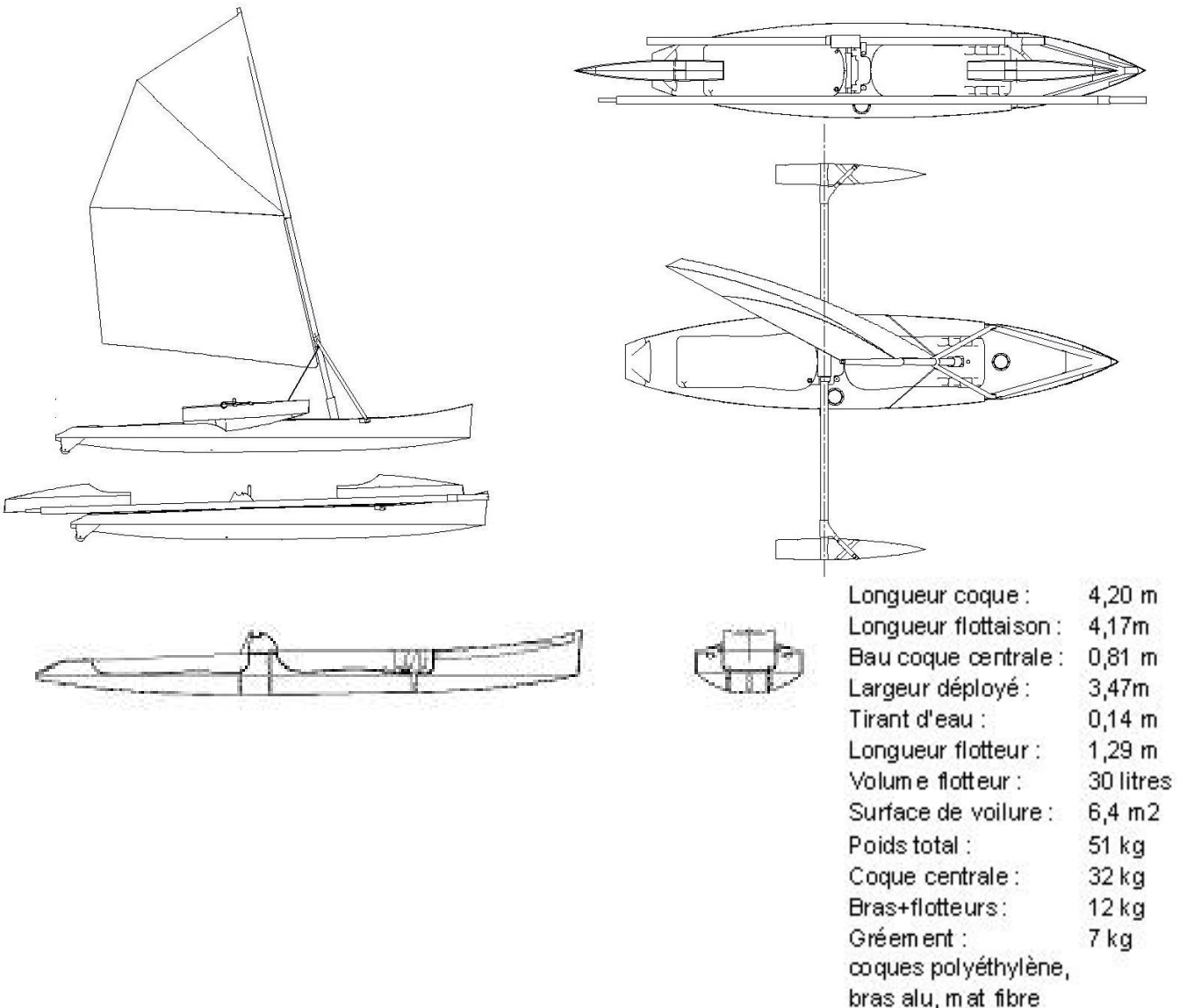


- Pour le déploiement, le bras de liaison pivote vers l'arrière. Seule limitation, on ne peut pas déployer sur l'eau avec deux personnes à bord. Pour un montage très rapide, le bras est transporté assemblé avec ses flotteurs repliés sur le toit de la voiture; la longueur totale de l'ensemble (4,5m) reste dans ces conditions légèrement inférieure à celle du mat qui est une taille standard planche à voile (4,6m).
- Comme pour les nouveaux modèles **WINDYAK**, l'étambrai est constitué par un bipode articulé, replié sur le pont avant en mode kayak, et maintenu en position relevée par 2 haubans. Pour faciliter la manipulation à terre, le bateau peut être tracté par une poignée avant; deux ailerons latéraux équipés de roulettes profilées rapportées à l'arrière de la coque permettent le roulage. Ces ailerons assurent aussi plus facilement la progression en ligne droite à la pagaie pour les débutants, en particulier en utilisation solo (le bateau est alors légèrement en assiette sur l'avant).
- Pour éviter le coût d'un gouvernail, il est prévu à la voile d'utiliser en remplacement la pagaie ; ceci permet accessoirement d'éliminer la question du stockage, sur le pont ou sur le bras, d'une perche encombrante de plus de 2 mètres de long. Son efficacité comme safran, et celle des ailerons anti-dérive des flotteurs, sont actuellement en cours de validation sur le kit **WINDYAK** pour kayak de mer.

Mise en œuvre

- La solution envisagée de fabrication monobloc (polyéthylène rotomoulé par exemple) impose de supprimer complètement tout élément rapporté à l'intérieur de la coque.
 - La difficulté principale identifiée à résoudre est de tenir le support central du bras, soumis à la compression de ce dernier en navigation. La technique retenue est d'utiliser comme épontilles des éléments fonctionnels du bateau:
 - . L'axe vertical de rotation du bras est enfoncé dans un puits conique s'ouvrant sur le pont et attaché au fond de coque. L'axe est maintenu en position par une rondelle en élastomère fermant ainsi le cône. Ces cônes (un sur chaque bord, pour pouvoir permuter les positions de bras et de mat en mode replié) constituent des poteaux bien placés juste à l'avant du support.
 - . Les positions des trous de vidange des cockpits sont dictées par le même objectif. Un raisonnement similaire a été tenu pour soutenir localement le pied de mat.
 - Les points de fixation des branches et des haubans du bipode étambrai situés au livet permettent de faire circuler les efforts dans le bordé de coque.
- Dans le cadre d'une solution alternative utilisant un thermo-plastique armé (Twintex par exemple) en remplacement du simple polyéthylène, la coque ne pourra peut-être plus être construite de manière monobloc. La future étude envisagée permettra de faire une analyse fine des problèmes rencontrés et de proposer des solutions.
- De même, nous prévoyons de fabriquer avec ce même type de matériau les pièces d'équipement du bras de liaison, ainsi que le bipode.étambrai.

Note : Les ailerons et roulettes sont des pièces moulées en thermo-plastique, rapportées.





WINDYAK®

Le trimaran repliable en kayak

La plaisance légère de demain est en marche !

WINDYAK

Imaginez un bateau qui vous permette de naviguer avec plaisir, qu'il y ait du vent ou pas,
Imaginez un bateau qui vous permette de naviguer, que vous ayez des équipiers ou pas,
Imaginez un bateau qui vous permette de naviguer sur n'importe quel plan d'eau,
Imaginez un bateau prêt en 10 minutes depuis le toit de votre voiture,
Imaginez un bateau qui se fasse oublier quand vous ne vous en servez pas,

VOUS NE REVEZ PAS, CE CONCEPT EST AUJOURD'HUI UNE REALITE



www.windyak.com
windyak@free.fr

Concours Bateau Bleu 2007

© Frédéric JOUFFROY

10. Conclusion

Cette étude a mis en évidence que le principal impact environnemental de la navigation de plaisance 'à la journée' est l'émission de CO₂ due aux transports :

- Déplacement de l'équipage pour se rendre sur le lieu de navigation
- Navigation de l'embarcation elle-même, si elle est mue par propulsion mécanique.

La diminution de cet impact, si l'on souhaite conserver dans le futur un niveau de pratique équivalent, passe par la réduction de la consommation des embarcations motonautiques, et par le passage à une plaisance de proximité, donc en particulier sur les plans d'eau intérieurs, au vu de la répartition de la population sur le territoire.

Le kayak, de par sa légèreté et sa facilité de mise à l'eau sur n'importe quel plan d'eau, est l'embarcation qui permet de pousser le plus loin cette logique de navigation de proximité.

L'auteur explore et développe depuis 4 ans le concept **WINDYAK** de bateau hybride voile-kayak de conception spécifique. Celui-ci offre un double usage en fonction des conditions météo, élargissant ainsi le potentiel d'utilisation; tout en conservant, grâce à des innovations protégées, la souplesse d'utilisation qui fait l'intérêt du kayak.

L'obtention du prix 'bateau bleu' permettra de mieux faire connaître ce concept innovant et 'propre', et au porteur de projet de lancer des actions pour réalisation d'un prochain modèle grand public. L'objectif visé est, en partenariat avec des acteurs de la plaisance hexagonale, d'utiliser pour sa construction des matériaux facilement recyclables, en s'orientant par exemple sur l'emploi de thermoplastiques renforcés.

La réussite future du concept **WINDYAK** témoignera de la capacité d'innovation renouvelée d'une industrie nautique française prête à s'adapter aux exigences chaque jour plus pressantes du monde de demain.