

Option projet LOWTEC

WELOW - We Explore Low-tech

2022-2023

Cahier des Charges Fonctionnel

Version 3

Janvier 2023

Ecole Centrale Nantes
Option projet LOWTEC

SOMMAIRE

1. Objet du document : présentation du sujet, du but de ce document et de son usage	3
2. Documentation et terminologie	4
2.1. Références documentaires	4
2.2. Terminologie	4
3. Contexte et motivations de l'action	4
4. Rôle et utilisation	5
4.1. Besoins essentiels et principes associés	5
4.2. Profil de vie du C5X	5
4.2.1. Phase A : Prototypage et installation	5
4.2.2. Phase B : En service	5
4.2.3. Phase C : Retrait du service	6
4.3. Interacteurs du C5X	6
5. Description fonctionnelle	7
5.1. Impositions générales	7
5.1.1. Impositions de conception	7
5.1.2. Règlements	7
5.1.3. Respect des normes sanitaires	8
5.1.4. Budgétaires	8
5.1.5. Contextuelles	8
5.2. Enoncé des fonctions de service (avec leur importance)	10
5.2.1. Gestion de la matière organique	10
5.2.2. Hydroponie	11
5.2.3. Système énergie	12
5.2.4. Système Numérique	14
5.2.5. Eau Chaude Sanitaire	16
6. Stratégie et impact	18
6.1. Éléments stratégiques	18
6.2. Critères d'appréciation généraux	18

6.2.1. ACV We Explore	18
6.2.2. Bilan carbone comparatif	19
6.2.3. Niveau low-tech	19
7. Conclusion	20
8. Annexe	21

1. Objet du document : présentation du sujet, du but de ce document et de son usage

Le présent document, fruit du travail d'un groupe d'analyse fonctionnelle du besoin, contient l'expression fonctionnelle du besoin d'un aménagement low-tech d'un catamaran Outremer 5X pour le fonds de dotation Explore.

Il est destiné à servir de référence à la régie autonome pour la consultation organisée auprès du groupe d'élèves-ingénieurs LOWTEC pour la conception, la fourniture et le maintien en état des systèmes low-techs aménagés à bord du catamaran Outremer 5X.

Le présent document est la version à usage interne du cahier des charges fonctionnel (CdCF), incluant une validation et une justification des principales exigences. Pour la version à usage externe, les informations de justification jugées confidentielles seront supprimées.

2. Documentation et terminologie

2.1. Références documentaires

- R1 : Plan de travail
- R2 : Guide étudiants projet LOWTEC
- R3 : Schéma solution besoin

2.2. Terminologie

- LOWTEC = option projet ingénierie des low-techs de l'école Centrale Nantes
- AFB = analyse fonctionnelle du besoin
- ERP = établissement recevant du public
- SLT = système low-tech
- C5X = catamaran Outremer 5X

3. Contexte et motivations de l'action

Basée sur la pédagogie par projet, l'option LOWTEC de l'Ecole Centrale de Nantes a pour mission d'**optimiser un catamaran** de course au large **grâce à une démarche et des technologies low-tech**, pour le rendre le plus autonome et le moins carboné possible. Mobilisant des techniques d'une grande diversité, le projet s'appuiera sur une rigueur scientifique exemplaire pour dimensionner les low-tech à prototyper et implémenter.

Nous sommes en partenariat avec EXPLORE, un incubateur de projets d'exploration qui répondent aux défis environnementaux et humains actuels. Fondé par Roland Jourdain et Sophie Vercelletto en 2013, EXPLORE a notamment pour but de promouvoir l'esprit low-tech autour du monde. C'est dans cet esprit qu'a été construit le catamaran de course *We Explore*, pensé pour le skipper Roland Jourdain. Plus qu'un simple navire, ce catamaran se veut être un démonstrateur de nouvelles techniques et mode de vie plus soutenable. Le pont a été conçu en bio-composites, avec de la fibre de lin. Après sa course pour la Route du Rhum, il va également être utilisé comme démonstrateur pour les personnes d'influence et comme navire support pour des missions scientifiques, notamment la fondation Under The Pole.

L'aménagement actuel du bateau est très sobre pour pouvoir répondre aux besoins minimes du skipper lors de la course du Rhum. Le matériel déjà présent à bord est donc très limité : une cuve de 300 litres d'eau, un évier, des toilettes classiques (les excréments sont stockés dans une cuve déchargée à quai), une table de bord contenant le réglage du pilote automatique et servant à suivre la météo sur des logiciels spécialisés.

Cela laisse donc beaucoup d'espace à aménager de façon low tech pour répondre aux différents scénarios prévus.

4. Rôle et utilisation

4.1. Besoins essentiels et principes associés

Exposé avec détermination de leur stabilité et caractérisation d'ensemble.

4.2. Profil de vie du C5X

4.2.1. Phase A : Prototypage et installation

Cette phase se déroulera de janvier à mars 2023.

4.2.2. Phase B : En service

Cette phase B contient 3 situations répétitives :

- **Situation B1 : scénario *Course***
Modéliser les moments de course au large en solitaire. 15 jours, 1 personne.
- **Situation B2 : scénario *VIP***
Accueil de décideurs pour les sensibiliser à la low-tech dans un cadre insolite. 1 jour, 15 personnes.
- **Situation B3 : scénario *Science***
Accueil d'une équipe de scientifiques à bord. 5 jours, 7 personnes.

4.2.3. Phase C : Retrait du service

Ce retrait intervient lorsque le C5X change de scénario en cours de service. Démontage facile et rapide des solutions retenues sans endommagement de la structure du C5X.

4.3. Interacteurs du C5X

Durant son profil de vie, le C5X est en relation avec les interacteurs suivants :

- Le lieu de mouillage,
- Roland Jourdain,
- Explore,
- Les étudiants LOWTEC,
- Les entreprises partenaires,
- Under the Pole,
- ...

5. Description fonctionnelle

5.1. Impositions générales

5.1.1. *Impositions de conception*

La principale contrainte de conception vient du contexte : aménager un bateau implique une place limitée, un environnement instable et des contraintes climatiques inhabituelles : présence de sel, d'humidité, de vent, d'UV... Cela engendre des contraintes fortes sur les matériaux qui vont être utilisés (qui doivent être peu sujet à la corrosion par exemple), et sur les structures qui doivent être capables d'encaisser des chocs. De plus, les aménagements doivent avoir un poids limité pour leur permettre d'être déplacés et ainsi de garder une bonne performance.

5.1.2. *Règlements*

Les contraintes réglementaires sont conséquentes. Comme souvent lorsqu'on cherche à mettre en place des solutions alternatives : on ne fait pas exactement ce qu'on veut.

Les normes sont cependant là pour de bonnes raisons : il s'agit de faire respecter des règles qui permettent, la plupart du temps, de protéger l'intérêt général et la sécurité de tous. Même si elles apparaissent parfois contraignantes à l'échelle individuelle, elles ont de réels impacts à l'échelle collective (pour peu que les personnes et entreprises influentes appliquent réellement ces normes bien entendu...).

Les normes nous guident donc sur certaines technologies qu'il est indispensable de mettre ou de garder à bord du bateau.

Par exemple, la loi de l'eau du 30 octobre 2006 spécifie qu'il est interdit de rejeter des eaux grises et noires dans les ports et jusqu'à 3 milles des côtes, et qu'il est possible de le faire entre 3 et 12 milles à condition d'être équipé d'un système de broyage et désinfection. Cela nous amène à réfléchir à une solution de toilettes sèches, nous interroger sur la toxicité des eaux noires et grises et sur la pertinence des solutions qu'on souhaite mettre en place de manière générale.

5.1.3. *Respect des normes sanitaires*

Les aménagements réalisés n'ont pas pour but de mettre en danger les usagers, il est donc important de veiller à leur confort et leur santé au-delà des normes sanitaires. On pense notamment à l'hygiène des toilettes sèches (odeurs, bactéries...) ou à éviter le développement de légionnelles dans le système d'eau chaude sanitaire. Cela implique de nouvelles contraintes sur

les systèmes (comme par exemple maintenir l'eau chaude au-dessus de 55°C pour éviter le développement des bactéries).

5.1.4. Budgétaires

Les contraintes budgétaires ne sont pas les plus importantes du côté du partenaire. EXPLORE disposant d'un budget assez élevé pour l'aménagement du bateau. Cependant, pour rester dans une démarche low-tech qui vise l'accessibilité par toutes les solutions étudiées, l'équipe s'appliquera à étudier la question du budget afin de garantir un bon compromis entre qualité et accessibilité financière.

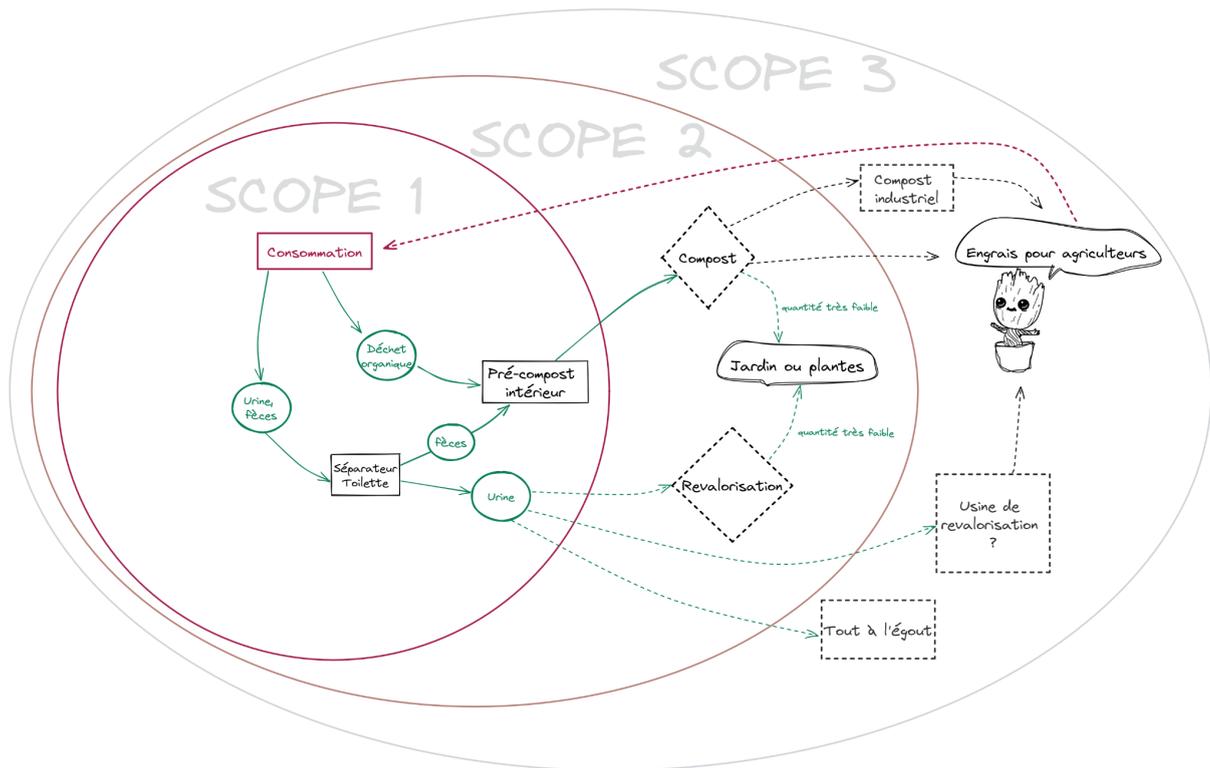
Par ailleurs, le réemploi et l'utilisation de matériaux de récupération seront privilégiés afin de minimiser l'impact environnemental des solutions, ce qui contribuera également à faire baisser le prix des prototypes.

5.1.5. Temporelle et Contextuelles

Le projet est étendu sur une durée courte, ce qui limite le travail effectif pouvant être réalisé sur le bateau ainsi que les décisions pouvant être prises par l'entreprise. D'autant plus que celui-ci fait la route du rhum de Novembre et revient en Janvier. Notre travail sera souvent déconnecté du We Explore.

L'environnement dans lequel s'inscrit le projet est également une contrainte. En effet, certaines solutions nécessitent des infrastructures à une échelle qui dépasse celle du projet. Les solutions à mettre en place à bord du catamaran sont donc directement influencées par l'environnement proche et le contexte territorial, qui rendent possible ou non la mise en place de certaines solutions. Pour autant, l'environnement peut aussi être une ressource. Il peut s'y trouver des réseaux d'entraides et de récupération de matériaux par exemple. Plus encore, il permet de mettre en place des principes d'économie circulaire. On réfléchit au cycle de vie global des différents flux et ressources.

Pour illustrer tout cela, nous avons mis en place des schémas en scopes, dont vous pouvez trouver une fiche explicative en annexe, et un exemple ci-dessous pour la gestion de la matière organique :



5.2. Énoncé des fonctions de service (avec leur priorité)

5.2.1. Gestion de la matière organique

Fonctions de service

Ce système regroupe permet de stocker différentes formes de matière organique. Ces attentes se séparent en trois principales fonctionnalités:

- + *Conserver les aliments*
S'assurer que les aliments ne se périment pas durant la navigation.
- + Réchauffer/cuire les aliments
Avoir le confort de manger des plats chauds à bord.
- + Gérer les déchets organiques produits à bord
Revaloriser les selles et autres déchets alimentaires.

Il est aussi intéressant de noter l'implication de différents acteurs pour ce système : nous avons par exemple, pour premier scope, le bateau où la nourriture est consommée ; puis en second scope, la base EXPLORE où elle est stockée, et enfin les producteurs externes des plats en troisième scope (voir fiche en annexe).

Le but serait de gérer ces flux de matière organique avec une approche similaire à celle de l'économie circulaire : les déchets produits à bord serviront d'engrais pour produire de nouveaux ingrédients.

Les solutions suivantes proposées ne concernent que le premier scope où nous intervenons. Le compostage des déchets par exemple sera favorisé à bord avec l'aide d'un bokashi, cependant les traversées n'étant pas assez longues, les déchets finiront d'être compostés à la base EXPLORE.

Solutions proposées

+ Conservation alimentaire "naturelle"

EXPLORE travaille en collaboration avec une école de restauration hôtelière pour élaborer des recettes à faible impact qui puissent être conservées en mer. La recherche n'est pour l'instant pas terminée mais la conservation se ferait à priori avec des bocaux pasteurisés ou par lactofermentation.

+ Garde-manger (avec frigo d'appoint)

Le garde-manger permet de conserver certains aliments sans consommer d'énergie. Pour les bocaux qui seront consommés à bord, c'est le mode de stockage le plus intéressant. Un frigo d'appoint alimenté par des panneaux solaires pourra être utilisé si la température du garde-manger est trop importante ou si la typologie des aliments l'impose.

+ Four solaire

Le four solaire permet un apport d'énergie suffisant pour réchauffer des bocaux mais pas toujours pour cuire des aliments. Son usage sera priorisé par rapport au réchaud à gaz.

+ Marmite norvégienne

Dans le cas où le four solaire ne peut fonctionner correctement nous utiliserons le réchaud à gaz présent sur le navire. La marmite norvégienne est une isolation par l'extérieur du récipient que l'on chauffe afin de limiter les pertes énergétiques. C'est parfait pour de la cuisson basse température ou juste pour réchauffer des plats.

+ Toilettes sèches

Les toilettes sèches présentes à bord évitent les rejets de selles en mer pour une revalorisation plus tard dans un compost à quai. Nous proposons de séparer l'urine et de la rejeter en mer afin de garder une matière sèche, d'éviter les odeurs avec un ajout de sciure régulier. L'intérêt est faible pour un voyage d'exploration, mais en incluant cet

objet dans notre scope de travail, nous souhaitons valoriser les bénéfices de toilettes sèches sur les bateaux de plaisances pour des communautés.

+ Bokashi

Le Bokashi vient pour gérer les déchets alimentaires humides. Le jus produit servira à alimenter l'hydroponie et des potagers locaux. Le substrat sera lui utilisé sur la base Explore.

+ Pré-compostage

Le Pré-compostage vient compléter le bokashi pour stocker les déchets alimentaires secs avant d'être composté à plus grande échelle par des acteurs locaux. Ici aussi, cet élément n'est pas jugé nécessaire au scope 1 de notre étude, mais plus à une vision systémique (SCOPE 3) de l'usage des bateaux de plaisance.

5.2.2. Hydroponie

Fonctions de service

Ce module a pour but de produire des végétaux à bord, avec une utilisation soutenue à terre pour accompagner la croissance des plantes.

+ Production

Le système hydroponique doit pouvoir disponibiliser des végétaux comestibles à bord.

+ Adaptabilité

Au regard de la temporalité de la croissance des plants ainsi que celle des missions du We Explore, le système hydroponique doit garantir un apport végétal sur diverses périodes de l'année.

+ Modulabilité

Le système doit être facilement transportable, montable et démontable pour accompagner son utilisation en support à terre et en disponibilité sur le We Explore.

+ Entretien

Selon les scénarios, le système doit fonctionner avec un entretien quasi-nul et donc être automatisé.

Solutions proposées

+ Production

Entretien des plants en amont à terre, d'abord via une table à semis puis directement sur le système hydroponique. Installation à bord juste avant embarquement.

+ Adaptabilité

Sélection intelligente des plantes compatibles avec les saisons. Utilisation d'aromatiques et feuillus annuels moins exigeants en entretien et à forte valeur ajoutée.

+ Modularité

Séparation possible du système en plusieurs unités séparées, plus légères et transportables.

+ Entretien

Installation d'un système NFT avec une pompe automatisée pour éviter tout arrosage manuel. Réduction des tests pH EC au strict minimum à bord : identification visuelle des carences.

5.2.3. Système énergie

Fonctions de service

Ce système alimente le bateau en électricité et assure son autonomie énergétique. Ses attentes se séparent en deux principales fonctionnalités:

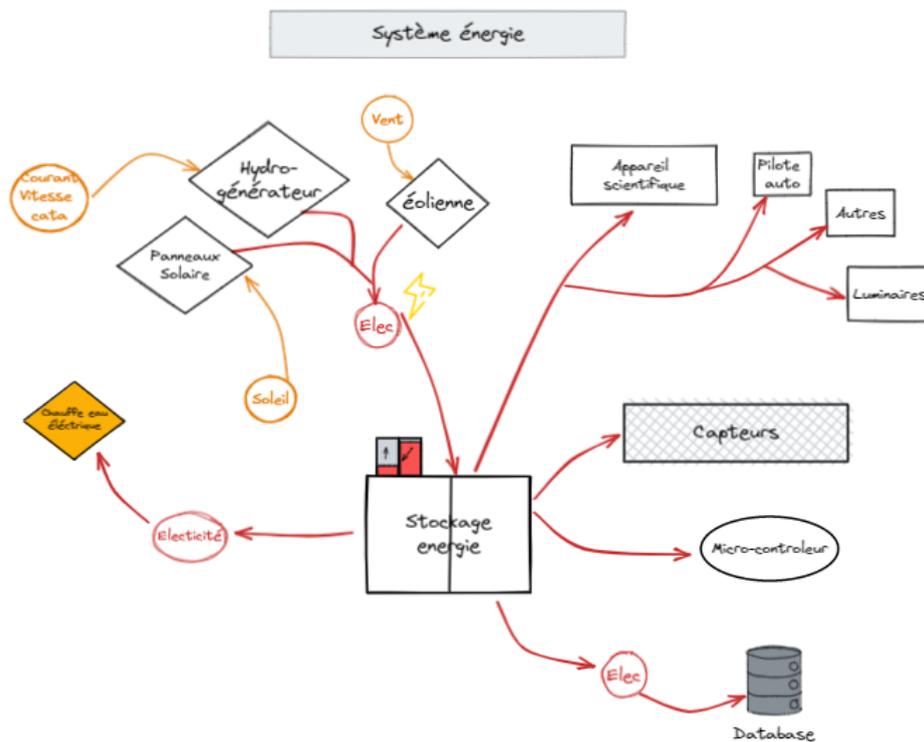
+ La production d'énergie

Une production d'énergie la moins carbonée possible est nécessaire sur le bateau pour assurer son autonomie vis à vis de la terre ferme. Le système énergie sert donc à définir, dimensionner et prototyper différents moyens de production d'énergie (solaire, éolien, hydraulique).

+ Le stockage d'énergie

La gestion et le stockage sont de grandes composantes du système Énergie. En effet, les énergies renouvelables étant pour la plupart intermittentes, le stockage de celles-ci est nécessaire. Le dimensionnement du parc batterie ainsi que le réseau de câblage électronique seront à prendre en compte et à étudier dans cette partie.

Voici alors un premier schéma récapitulant les flux d'informations de ce système:



Solutions proposées

+ Les panneaux solaires

Les panneaux photovoltaïques semblent une solution pertinente au vu de l'abondance de l'énergie solaire sur Terre. De plus, des technologies souples et pliables de panneaux existent et permettraient alors de réduire l'encombrement demandé par la production d'énergie solaire.

+ L'éolienne

Au vu de l'abondance et de la puissance du vent en mer, la solution éolienne semble plus que pertinente. Cependant, une étude de dimensionnement reste à faire afin de se fixer sur l'encombrement de celle-ci. En effet, une grosse éolienne à mât vertical n'est peut être pas très pertinente au vu de la prise au vent.

+ L'hydrogénérateur

Encore une fois, au vu du nombre d'heures de navigation prévues pour le bateau par jour, la solution de l'hydrogénérateur s'impose d'elle-même. En effet, grâce au courant généré par la course du bateau, une production d'énergie est possible.

+ Batteries recyclables

L'étude énergétique fait apparaître le besoin d'un parc supplémentaire au moins aussi volumineux que celui installé. Une solution upcyclée à partir de cellules Li-Ion issues de vélos

électriques semble s'imposer. Ainsi, la solution retenue serait de prototyper une batterie dont chaque cellule serait modulable et remplaçable pour éviter de jeter toute la batterie lors de la défaillance d'une unique cellule. Le prototype devra également prendre en compte les aspects vibratoires très présents sur un bateau qui peuvent générer des faux contacts.

+ Courant

En navigation le courant AC a de nombreux désavantages, le plus simple est d'envoyer toute l'électricité produite directement aux batteries, puis de rediriger le courant vers les systèmes en ajoutant un onduleur en plus si besoin d'un courant AC.

5.2.4. Système Numérique

Fonctions de service

Ce système regroupe les attentes concernant la gestion de l'information à bord du bateau. Ces attentes se séparent en trois principales fonctionnalités:

+ L'acquisition des données

Acquisition des données des capteurs (consommations d'électricité, de niveau de charge de batterie, de potentiométrie...) et transmission à une base informatique. Ici on souhaite récupérer les données en temps réel, sans problème lié à l'humidité, aux vibrations...

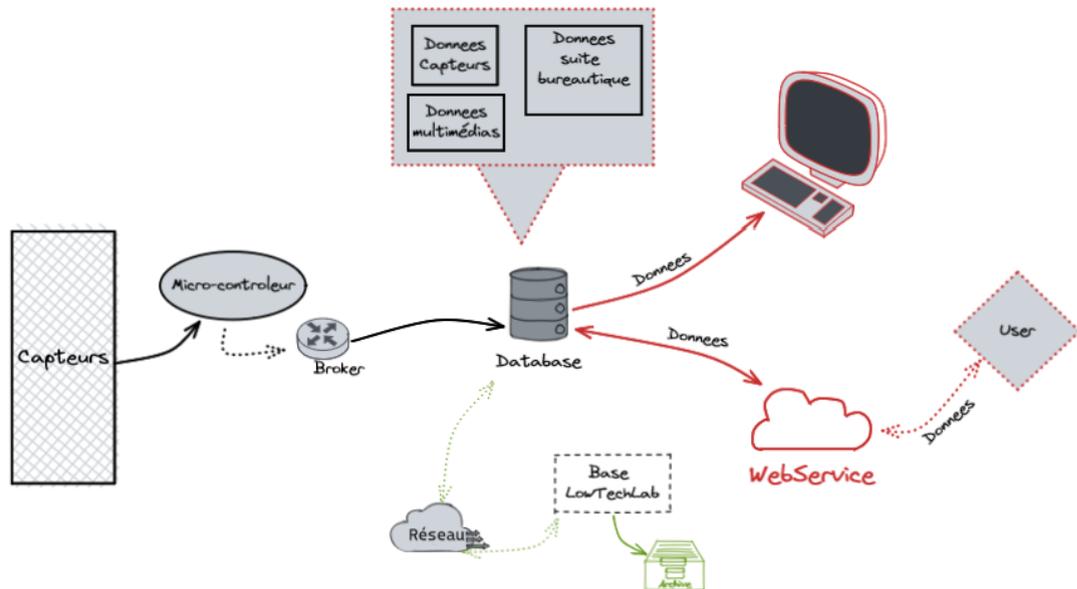
+ Gestion des données

Stockage en base de données, mise en page des données avec une interface utilisateur, cloud local pour accéder aux données partout sur le bateau. Les besoins sont de pouvoir centraliser les données de consommation d'électricité, d'eau potable, de chargement des batteries, de température de l'eau. Ceci permettrait de pouvoir orienter ses choix en temps réel selon les évolutions de ces données.

+ Transmission des données

Pouvoir envoyer des paquets de données à une base à terre. Soit des petits paquets pour des informations météorologiques ou de survie, soit des gros paquets pour transmettre du contenu multimédia pendant la navigation.

Voici alors un premier schéma récapitulant les flux d'informations de ce système:



Solutions proposées:

Ce système sera étudié en collaboration avec 4 étudiants de l'option E-control. Ceux-ci proposeront les moyens informatiques pour répondre à ces besoins. Cependant, suite à l'étude de faisabilité et aux échanges avec Explore, certains immuables sont apparus:

La **fabrication** de boîtier-capteur comprenant un capteur, le micro-contrôleur pour transmettre les informations et une cellule de batterie recyclée, changeable, pour alimenter le système en électricité. Ceux-ci transmettent leurs données via un réseau hébergé par un Raspberry Pi.

Pour le stockage, un autre Raspberry Pi avec une carte SD, qui supporte la base de données et les logiciels d'interfaces, suite bureautique, etc...

Enfin pour la transmission des données, aucune piste n'a réussi à convaincre pleinement l'équipe LOWTEC et Explore, nous nous orientons vers un partage LoRa et 4G mais n'excluons aucunement les propositions de l'équipe d'E-control.

Bien entendu, nous cherchons le plus Open Source et le moins énergivore possible.

5.2.5. Eau Chaude Sanitaire

Fonctions de service

L'objectif est de permettre aux passagers la prise d'une douche chaude. Ces attentes se séparent en deux principales fonctionnalités:

- + Chauffer l'eau
S'assurer que l'eau soit chaude au moment de la douche (température de consigne 38°C)
- + Stocker l'eau
Faire en sorte qu'il y ait suffisamment d'eau douce pour la douche et autres usages à bord du bateau.

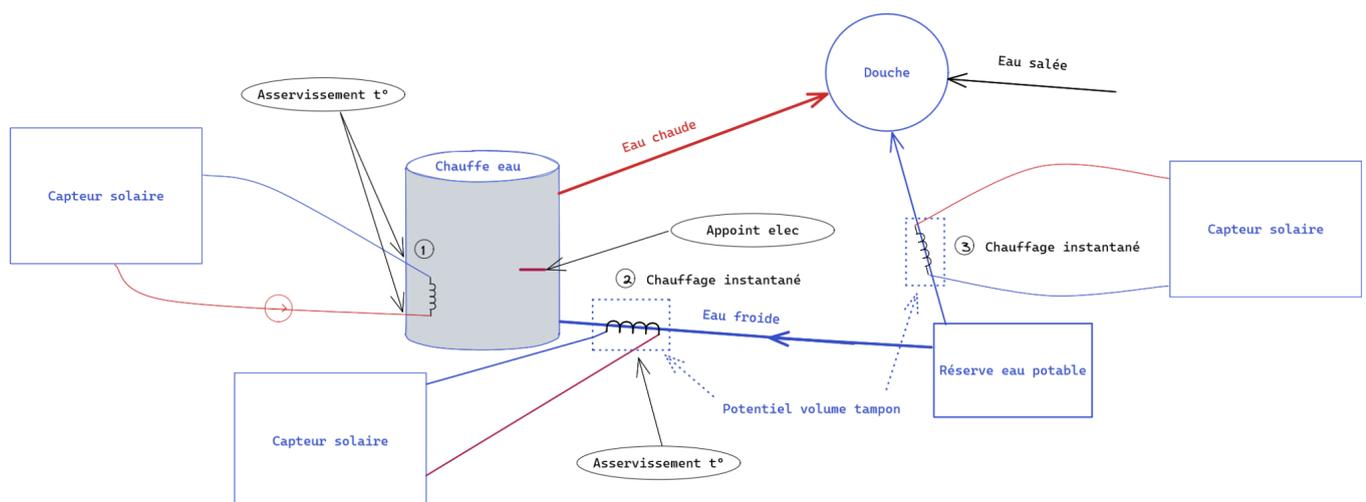
Solutions proposées

- + Chauffe-eau électrique

Un chauffe-eau électrique sera installé à bord pour répondre à la majorité de la demande en eau chaude. Il sera bien-sûr isolé de l'extérieur afin de limiter les pertes thermiques.

- + Chauffage solaire

En complément du chauffe-eau électrique nous souhaitons installer un moyen de chauffage solaire. Il existe plusieurs possibilités pour le placement des échangeurs : directement dans le chauffe-eau, à l'entrée d'eau froide dans le chauffe-eau ou à l'entrée d'eau froide dans la douche.



- + Limiteur de débit et de température

Pour économiser de l'eau nous installerons un pommeau de douche à débit limité (6L/min). Et nous prévoyons une température maximale de douche à 38°C afin d'avoir une sensation de chaleur tout en consommant un minimum d'énergie.

- + Bouton poussoir

Un bouton poussoir sera installé afin de questionner l'utilisateur régulièrement sur la durée de sa douche. Nous avons pour l'instant prévu 3 min par douche.

- + Douche à recyclage ?

Nous envisageons l'installation d'une douche à recyclage à bord afin de permettre à l'utilisateur de rester plus longtemps dans la douche après son cycle de rinçage, pour plus de confort. Il ne consommera alors plus d'eau mais seulement l'énergie nécessaire au chauffage.

- + Eau salée

Nous ne pouvons pas nous permettre de nous doucher intégralement à l'eau salée (savon solide incompatible, peu de confort, dégradation du chauffe-eau). Cependant il est possible d'utiliser de l'eau de mer comme source d'eau froide pour le premier rinçage afin d'économiser de l'eau douce.

6. Stratégie et impact

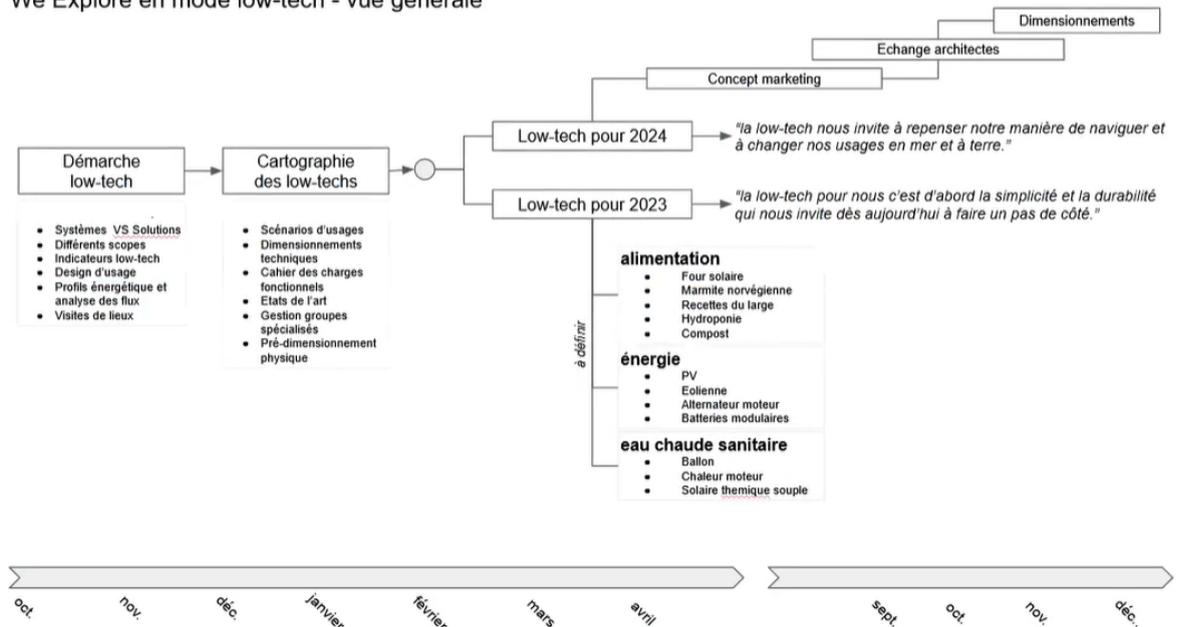
6.1. Éléments stratégiques

6.1.1. Stratégie du projet

Certains aménagements doivent être réalisés pour mars 2023. D'autres systèmes plus complexes serviront de base, pour les équipes de 2023-2024, et pour les ingénieurs d'Explore et d'Outremer. Plutôt que prendre le risque de n'aboutir à aucun prototype par manque de temps, il est important de hiérarchiser les solutions étudiées afin de prioriser nos travaux.

Voici la cartographie des attentes d'Explore:

We Explore en mode low-tech - vue générale



Ainsi nous traiterons les 5 systèmes définis précédemment, mais pas avec les mêmes attentes. Les systèmes alimentation, hydroponie (que nous décidons d'intégrer au système alimentation) et numérique sont à dimensionner, prototyper et installer pour Mars 2023. Les systèmes ECS et énergie sont à pré-dimensionner et à réfléchir comme un travail de bureau d'étude. Pour ces deux derniers, nous ne prototyperons pas et les réflexions amorcées serviront de support pour les années suivantes.

Quelques exceptions: Certains aménagements sont absolument nécessaires au bon fonctionnement des systèmes, comme le parc batterie. Ils sont donc placés en priorité 1. Certains aménagements ont peu d'interactions avec le système et peuvent facilement être retirés sans nuire à l'ensemble, il seront donc peu prioritaires, c'est le cas de la douche à recyclage par

exemple. Pour tous les autres aménagements, leurs priorités dépendent du temps nécessaire estimé. Plus la solution à mettre en place est chronophage, plus elle est prioritaire car il faut s’y pencher au plus vite.

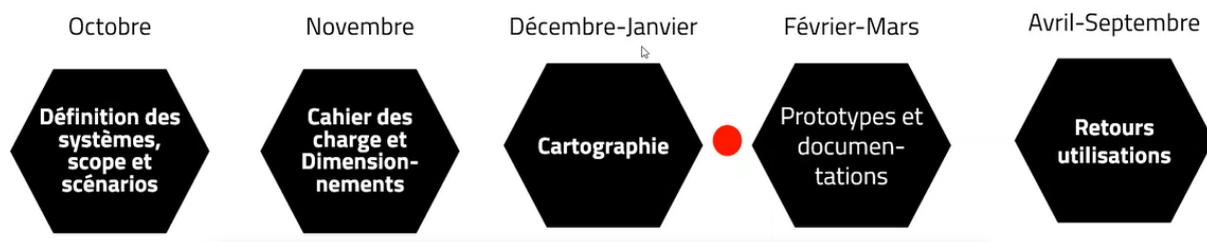


Schéma de la stratégie pour le projet.

Le commanditaire final, Roland Jourdain, n’est pas disponible avant fin Janvier pour valider les solutions proposées. Il nous restera alors le prototypage et la documentation. La période en amont de cette rencontre sera principalement dédiée au pré-dimensionnement des solutions, afin de faciliter la prise de décision et permettre d’enchaîner rapidement sur le prototypage une fois les solutions validées. Cependant, le risque de manquer de temps pour les dernières phases du projet est important. Nous allons donc commencer à modéliser et prototyper certaines solutions en amont afin de prendre de l’avance. Nous commencerons par les solutions dont la nécessité et la faisabilité est assurée.

6.1.2. Stratégie humaine

Nous fonctionnons avec une distribution des responsabilités, sans chef de projet. Cela a pour objectif d’impliquer et de motiver chacun des membres de l’équipe. Ces responsabilités sont explicitées dans une matrice type RACI:

Pole energie	R	I	I	R	I	R
Pole matière organique	A	A	R	A	A	A
Pole hydroponie	I	I	I	I	I	R
Pole eau chaude sanitaire	I	A	A	I	R	I
Pole electronique /comm	I	R	I	I	I	I
IECO	I	A	I	I	R	I
E-control	I	R	I	I	I	A
Energ	A	I	I	R	I	R

Matrice des responsabilités, R = respo, A = Acteur, I = Informé

6.2. Critères d'appréciation généraux

6.2.1. ACV We Explore

L'entreprise We Explore avec qui nous travaillons, a développé un logiciel d'analyse du cycle de vie et compte étudier le cycle de vie du navire construit par Kairos. Selon l'ADEME :

L'analyse du cycle de vie est l'outil le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Cette méthode normalisée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement.

L'analyse du cycle de vie (ACV) recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines. Elle en évalue les impacts potentiels puis interprète les résultats obtenus en fonction de ses objectifs initiaux. Sa robustesse est fondée sur une double approche : multicritère (plusieurs flux sont étudiés : matière, énergie...) et cycle de vie (l'ensemble des étapes de la vie du produit sont étudiées "du berceau au tombeau").

6.2.2. Bilan carbone comparatif

L'option professionnelle ingénieur de la transition écologique de l'École Centrale de Nantes participe aussi activement au projet et nous aide sur certains points. Ces derniers concernent notamment un bilan carbone comparatif et une évaluation du niveau low-tech de nos innovations.

Au sujet du bilan carbone comparatif, l'objectif est d'évaluer la quantité de kgCO₂eq économisée vis à vis d'un Outremer 5X "normalement" équipé. Une possibilité serait de dresser le bilan carbone des consommations à bord des deux bateaux puis de faire la différence afin d'obtenir la donnée souhaitée.

6.2.3. Niveau comparatif low-tech

Les étudiants en option ingénieur de la transition écologique (IECO) devront s'approprier cette notion puis créer un outil pertinent pour le projet WELOW. L'association APALA (Aux petits acteurs l'avenir) basée à Nantes a établi une méthode afin d'évaluer selon plusieurs critères le "niveau low-tech" d'un objet, et possède plusieurs ressources que les IECO utilisent.

7. Conclusion

L'analyse des besoins fonctionnels et de leur traduction en termes de solutions techniques montre un besoin important d'adaptabilité et donc de modularité des systèmes. Il faut par ailleurs prendre en compte les différentes échelles d'acteurs et leurs impacts sur le fonctionnement à bord, ce qui doit être intégré à notre étude. Il faut aussi prendre en compte la limite temporelle (6 mois), notre travail est une fondation qui servira à construire un bateau low-tech dans les prochaines années.

En ce qui concerne les prochaines étapes et les sujets prioritaires, nous déduisons les données suivantes :

Priorité P2	Priorité P1	Priorité P0
<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionnement des panneaux solaires - Batteries up-cyclées - Etat de l'art du système numérique - Étude du système ECS (chauffe-eau solaire, ballon, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration électrique du système énergétique - Garde manger - Conception/prototypage du système hydroponique - Gestion des matières organiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Douche à recyclage - Douche solaire - Zeer Pot - Bokashi - Réchaud à gaz - Marmite norvégienne - Cuisson solaire

8. Annexe

FICHE MÉTHODE N° 1: SCHÉMA EN SCOPES

→ Comment représenter les interactions d'un système complexe avec son environnement ?

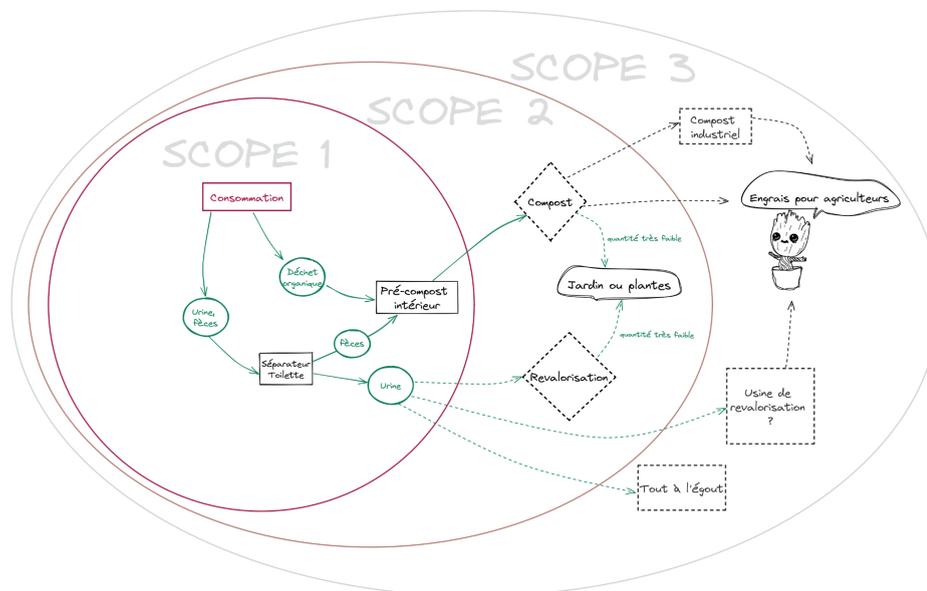
Concept:

Toute action s'inscrit dans son environnement. Certaines solutions à petite échelle nécessitent des infrastructures à plus grande échelle pour être réalisables. L'impact de ces solutions dépend alors d'un environnement plus large, dont les paramètres peuvent être hors de notre champ d'action.

La méthode des schémas en scopes permet de faire apparaître ces différentes échelles d'action, et ainsi d'identifier facilement les leviers d'actions et parties prenantes.

Méthodologie:

<p>1. Pour chacun des éléments constituant ou impactant le système, le placer dans l'un des trois SCOPE</p> <p>Description des SCOPES :</p> <ul style="list-style-type: none"> SCOPE 1 : Petite échelle - chez soi ou initiative personnelle SCOPE 2 : Environnement proche - son jardin, son voisinage, sa copropriété, son quartier... SCOPE 3 : Contexte et infrastructures territoriales 	<p>2. Représenter les flux entre les éléments</p> <p>A chaque flèche représentant un flux, se poser les questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Quelles sont les quantités mises en œuvre ? Comment la ressource est-elle transportée ? Qui est responsable de ce transport ?
---	---



Exemple pour la mise en place de toilettes sèches et compost à l'échelle individuelle

Le schéma met en lumière la nécessité d'avoir une structuration territoriale du compostage et de la valorisation de l'urine si on veut pouvoir développer ces solutions à grande échelle et permettre aux personnes n'ayant pas de jardin d'y avoir accès.