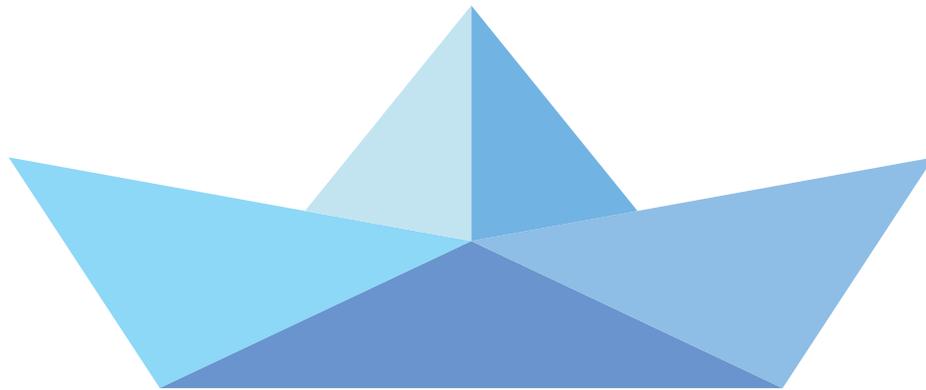




Rapport de stage



Protei

Open Source Sailing Drone



Résumé

Ce rapport présente mes activités alors que j'étais embauché par DNV pendant l'été 2011 auprès du projet Protei ainsi que les réflexions que ces activités m'ont inspiré. Ce projet international a rassemblé à Rotterdam une équipe d'environ 10 personnes comportant de jeunes ingénieurs, designers mais aussi artistes. 3 missions m'ont été confiées principalement : devenir l'expert de l'équipe en technologie de ramassage du pétrole, lancer le processus de qualification de nouvelle technologie pour DNV et assister l'équipe dans la réalisation du sixième prototype. Ces missions sont développées dans le chapitre 2 : «Analyse des activités».

Protei est un projet extrêmement innovant tant sur le fond que sur la forme. Développé en open-source, low-cost, low-tech, s'appuyant sur un réseau international de partenaires, renversant l'ordre habituel des priorités d'un business, Protei est un ovni dans le monde des projets d'ingénierie. D'ailleurs, il a profondément changé ma vision sur plusieurs aspects, tels que la place respective des ingénieurs et designers dans un projet ou encore la nécessité d'avoir d'importants budgets pour innover. Ces aspects sont développés dans le chapitre 3 : «Enseignements et discussions».

On trouvera en annexe certains documents ou extraits de documents permettant d'illustrer mes propos. Mais surtout, ce rapport est (normalement) accompagné par le handbook de Protei, également réalisé cet été et dont je détaille le contenu et les objectifs dans la fin du chapitre 3. Sa qualité traduit bien l'état d'esprit dans lequel nous nous trouvons cet été. Il servira au lecteur pour mieux comprendre certains aspects du projet qu'il est impossible de détailler dans ce rapport, notamment sur l'histoire du projet et son futur, mais aussi sur l'importance que nous accordions à la publication et la diffusion de nos travaux.

Afin d'éviter toute confusion, je précise que Protei désigne le projet Protei, des voiliers robotisés open-source pour le nettoyage des océans tandis que Protei_006 désigne le sixième prototype, développé au cours de l'été 2011 et présenté officiellement lors du festival *Witte de With* les 9, 10 et 11 septembre 2011 à Rotterdam. D'autre part, j'utilise systématiquement le pronom «nous» pour désigner l'équipe Protei.

Les réflexions issues de mon expérience cet été n'engagent que moi et ne reflètent pas nécessairement la vision partagée de l'équipe Protei.

Je remercie toute l'équipe Protei pour l'expérience fabuleuse que nous avons vécu ensemble et que j'espère nous continuerons à partager. En particulier j'aimerais mentionner mon tuteur, Etienne, notre coordinateur, Cesar, et mes équipiers Sebastian, Roberto, Logan, Gabriella, Peter, Toni, Hunter, Qiuyang, Piem et Fiona. Merci également à V2_, l'institut d'art et média qui nous a accueilli à Rotterdam, d'avoir cru en nous et de nous avoir soutenu jusqu'au bout.

Sommaire

Présentation du contexte	3
L'entreprise d'accueil	3
Le projet PROTEI	4
Objectifs	5
Genèse	6
<i>Les premiers prototypes</i>	6
<i>Levée de fonds sur Kickstarter</i>	6
Protei_006	7
Analyse des activités	8
Devenir l'expert pétrole de l'équipe	8
Technology Qualification	10
Assister l'équipe dans la construction et les tests de Protei_006	12
Enseignements et discussions	16
La collaboration entre designers, ingénieurs et artistes	16
Innovation et low-cost	19
Business-model de l'innovation open source	21
Annexes	23
Extraits d'échanges par mail avec Aeroclay Inc.	23
SINTEF : présentation Troll B et CR de réunion	26
Protocole de test des matériaux absorbants	28

1. Présentation du contexte

1.1 L'entreprise d'accueil

DNV, ou Det Norske Veritas, est une fondation indépendante norvégienne spécialisée dans l'identification et la classification des risques, particulièrement dans le domaine maritime. Ils ont également une longue expertise dans la certification de navires, plateformes et autres installations en mer.

Leur siège est situé à Høvik en Norvège, près d'Oslo, mais DNV possède des bureaux dans une centaine de pays, principalement côtiers, et près de 10.000 collaborateurs.

Les missions principales de DNV sont les suivantes :

- **Classification des navires**

Vérification par rapport aux exigences des standards DNV lors de la conception, la construction et l'exploitation de navires et unités offshore.

- **Services de réglementation**

Réseau mondial de 300 stations de sondage qui délivrent des certificats réglementaires pour le compte de plus de 80 pays.

- **Certification de matériaux et composants**

Tous les matériaux, composants et systèmes pertinents pour un fonctionnement sûr et de qualité des navires et des unités mobiles offshore.

- **Conseil**

Services de conseil au sein de la gestion commerciale, opérationnelle et technologique.

- **Systèmes de transport maritimes**

Aider les clients à comprendre, améliorer et développer des systèmes durables de transport maritime

- **Tests et gestion de carburant**

Apporter des améliorations mesurables à l'efficacité de gestion du carburant et la conformité aux réglementations.

- **Assistance aux navigateurs**

Réduire la paperasserie et la charge de travail, réduire les risques opérationnels et les coûts, contribuer à l'excellence opérationnelle et la sécurité

FUITES DE PÉTROLE

EN 5 MINUTES

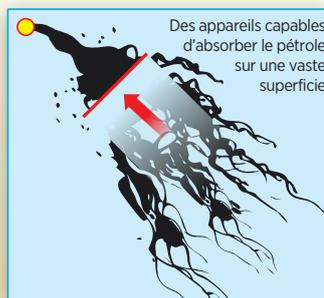
Des bateaux robotisés à la rescousse

Près d'un an après la catastrophe survenue à la plate-forme pétrolière Deepwater Horizon de la compagnie BP – dont seulement 3 % des dégâts ont pu être récupérés – l'organisme environnemental **Open Sailing** a développé une flotte de drones robotisés, appelée « Protei ». Cette nouvelle technologie promet de meilleurs résultats à de plus bas coûts. De plus, n'importe qui peut modifier, produire et distribuer de tels appareils, grâce à une politique de « matériel libre » rattachée à la technologie.

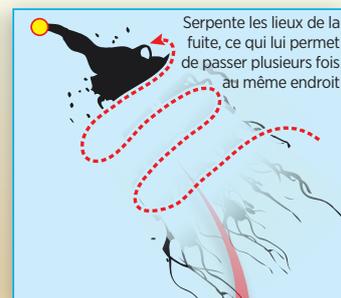
SOLUTION ACTUELLE



SOLUTION IDÉALE



PROTEI



5 PROTOTYPES ASSEMBLÉS JUSQU'À MAINTENANT

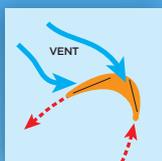
VOILE LARGE, LÉGER ET PUISSANT

PEUT ABSORBER PLUS DE 25 FOIS SON POIDS EN PÉTROLE

ÉQUIPÉ DE DÉTECTEURS ÉLECTRONIQUES PERMETTANT D'ÉVITER LES COLLISIONS ET DE DÉTERMINER LA DIRECTION DU VENT

GOVERNAIL À L'AVANT

Contrairement à la plupart des bateaux, le gouvernail de Protei est situé à l'avant, et sa coque flexible se courbe pour tourner, tout comme le fait un animal.



Matériel libre : n'est détenu par aucune compagnie



LA COQUE FLEXIBLE PERMET AU BATEAU D'UTILISER L'ÉNERGIE DU VENT, MÊME LORSQU'IL VIRE DANS CELUI-CI. LE BATEAU NE PERD JAMAIS SA FORCE DE TRACTION REQUISE PAR SA LONGUE QUEUE.

EXIGENCES

- Utilise des technologies existantes pour un déploiement rapide
- Peut naviguer face au vent de façon semi-autonome et capter les dépôts de pétrole en aval
- Le prototype doit être :**
 - Résistant à un ouragan
 - Capable de se repositionner s'il renverse
 - Gonflable
 - Incassable
 - Peu coûteux
 - Facile à fabriquer

AVANTAGES

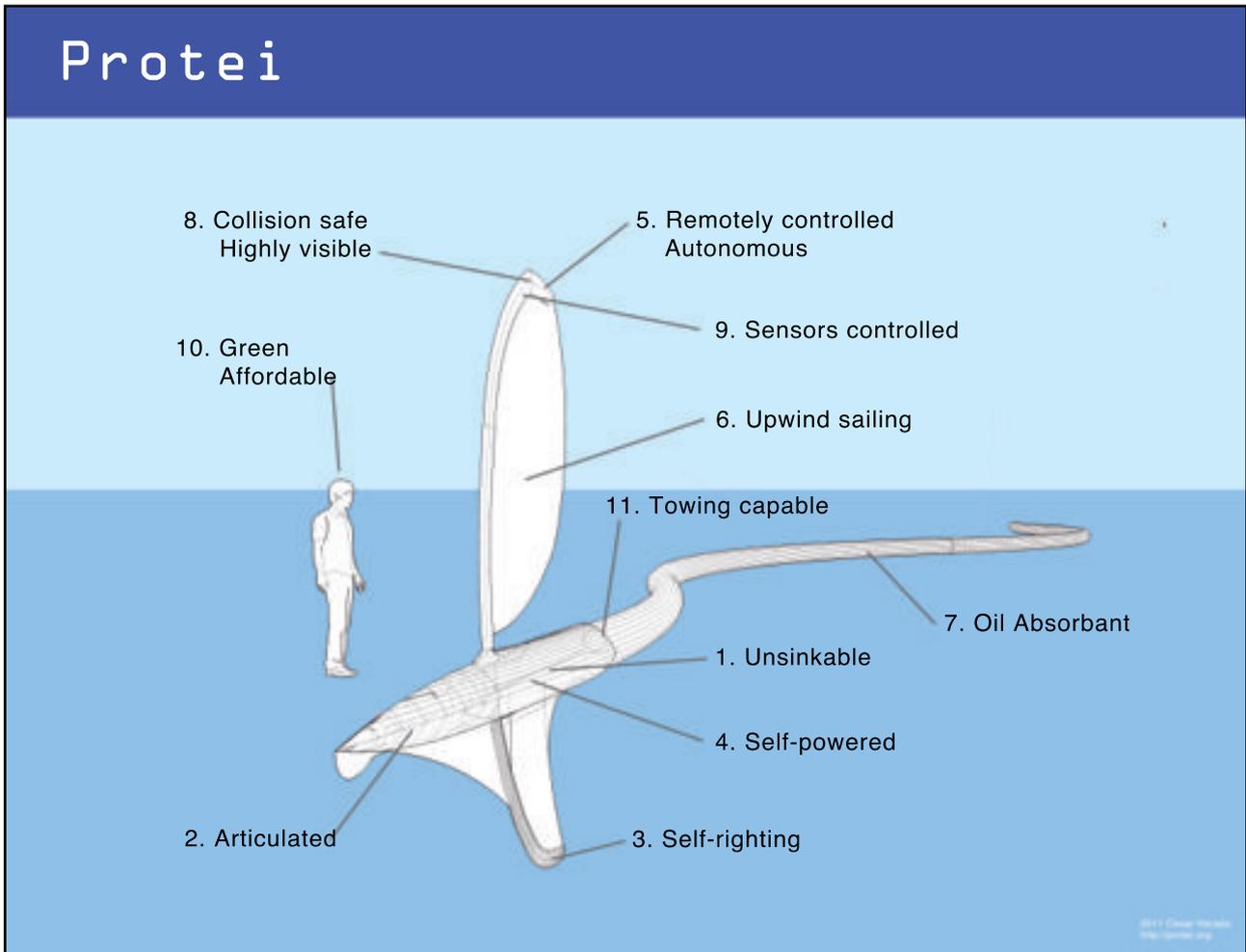
- Aucun humain exposé aux contaminants
- Écologique, économique, peut remonter le vent tout en absorbant le pétrole en aval
- Capable de fonctionner lors d'ouragans
- Semi-autonome : peut serpenter sans arrêt, loin des côtes

AUTRES USAGES

Le prototype actuel est conçu pour récupérer du pétrole, mais il pourrait être adapté afin de recueillir des déchets à la dérive, des métaux lourds dans des régions côtières et des substances toxiques dans des canaux.

2.1. Objectifs

Protei est un projet international open-source de voiliers robotisés et semi-autonomes à faible coût appliqués au nettoyage des océans, en particulier celui des marées noires. Ces voiliers utilisent des technologies existantes dans un design innovant destiné à optimiser la navigation au près, nécessaire pour intercepter les marées noires qui suivent la direction du vent. De plus, ces drones ont pour objectifs d'être autonomes en mer, c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent aucune intervention humaine proche. Ils pourront ainsi rester en mer pour des durées importantes. Les propriétés que Protei doit atteindre sont donc, entre autres, les suivantes : résistant aux intempéries, auto-équilibré (il ne chavire pas), respectueux de l'environnement et produit à bas coût.



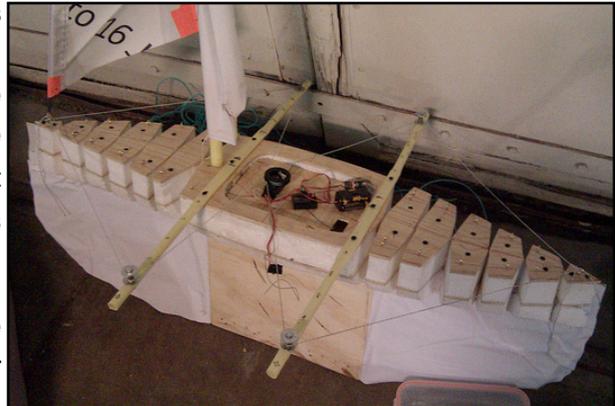
Une vidéo de présentation globale de Protei et du projet de l'été 2011 peut être visionnée à cette adresse : <http://vimeo.com/27428620>

2.2. Genèse

Les premiers prototypes

Avant mon arrivée à Rotterdam, plusieurs prototypes avaient déjà été construits. Protei_001, Protei_002, etc. jusqu'à Protei_005.5 ont chacun à leur manière tenté de nous donner plus de visibilité en terme de performance et d'efficacité sur des designs innovants qui n'étaient justifiées que par des intuitions ou des visions esthétiques.

Par exemple, Protei_005.3 possède une coque segmentée et articulée grâce à un servomoteur (voir image ci-contre). Néanmoins, nous avons constaté que les turbulences hydrodynamiques engendrées par les interstices perpendiculaires au flot seraient trop importantes lors d'une mise à l'échelle. Nous avons toutefois conservé le design d'une coque flexible, car malgré l'absence de toute justification scientifique ou académique, l'équipe reste persuadée que c'est une solution efficace pour ne pas perdre trop d'énergie lors d'un virement de bord.

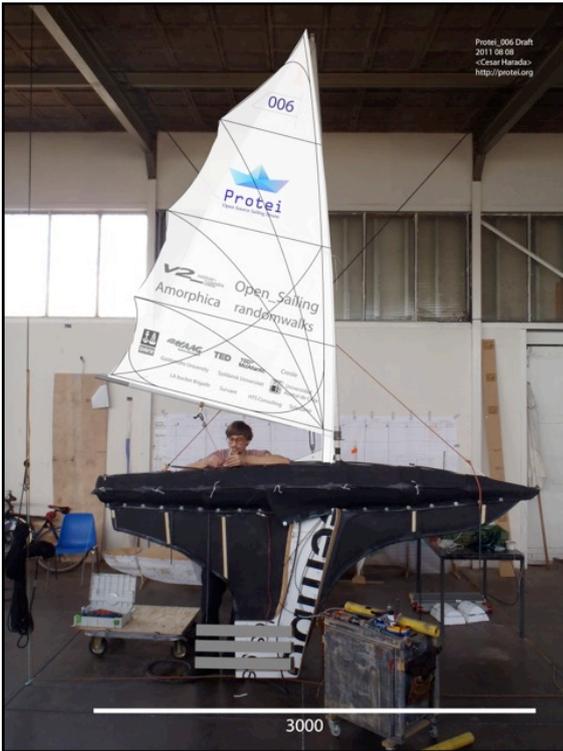


Protei_005.3

Levée de fonds sur Kickstarter

D'autre part, avant l'été, César Harada a levé plus de 30.000 \$ sur le site Kickstarter.com, un site de financement collaboratif dont le principe est le suivant : un projet est présenté, dans le domaine de l'art, la musique, la technologie ou assimilé avec un budget et une date limite. Si la somme des donations potentielles n'atteint pas au moins le budget demandé avant la date limite, les fonds ne sont pas débités des donateurs. Le financement n'est donc obtenu que si suffisamment de personnes ont confiance dans le projet. Au final, ce sont plus de 300 personnes qui ont participé, de 1 à 6000 dollars.

2.3. Protei_006



Protei_006 est le prototype qui a été construit pendant l'été 2011 à Rotterdam par l'équipe Protei. C'est un voilier télécommandé de 3m de long, 3,80m de haut et 42cm de large. La coque est segmentée par 7 tranches supportant un squelette de tubes PVC longitudinaux couissant les uns dans les autres, conférant à la coque sa flexibilité. Des câbles Bowden (type frein de vélo) parcourent les tubes PVC et sont actionnés par des actuateurs linéaires, afin de pouvoir contrôler la courbure de la coque et de manœuvrer ainsi le bateau. Une peau en Néoprène protège l'ensemble de la structure (voir photo ci-contre) et améliore le profil hydrodynamique. La majorité du poids est concentrée au bas de la quille, où on peut voir 3 compartiments cylindriques répartis ainsi (de bas en haut):

- Batterie et ballast supplémentaire
- Actuateur linéaire pour la proue
- Actuateur linéaire pour la poupe

La voile mesure près de 3m² et adopte une forme inspirée d'une aile de chauve-souris.

Le profil de Protei est quasiment cylindrique, en raison de l'absence de pont et de l'adoption d'un squelette longitudinal. Cela lui confère une certaine instabilité en terme de gîte mais également une grande facilité pour se remettre d'aplomb après une période de vent fort. Par conséquent, il est quasiment impossible de faire chavirer Protei.

De plus, Protei_006 embarque un boîtier d'électronique, contenant le microcontrôleur, et les drivers des moteurs, ainsi qu'un module récepteur radio et un traceur GPS.

Le travail de l'équipe pendant les 3 mois qui étaient impartis — du lancement début juin à l'exposition le WE du 10 septembre — a donc été de concevoir, fabriquer et tester ce nouveau prototype, le premier de cette taille et de cette complexité.

3. Analyse des activités

1. Devenir l'expert pétrole de l'équipe

La première mission qui m'a été confiée par mon tuteur a été de devenir en 3 semaines la référence de l'équipe en ce qui concerne le pétrole et la collecte des marées noires. Grâce à des ouvrages tels que *The Basics of Oil Spill Cleanup* par Merv Fingas, j'ai pu être opérationnel rapidement afin de saisir les enjeux technologiques, économiques et environnementaux que représentent le nettoyage des marées noires. Ce livre détaille en particulier le comportement du pétrole sur l'eau — et la modélisation des marées noires — ainsi que les principes de base des technologies de confinement et de récupération existantes, avec leurs avantages et inconvénients ainsi que des scénarios typiques de déploiement.

J'ai pu ensuite m'attaquer à une série de documents publiés par les garde-côtes américains, car ces derniers disposent de moyens énormes et notamment d'un centre de test (OHMSETT) où sont évaluées régulièrement de nouvelles technologies de nettoyage des pollutions en mer. Rapports de tests, guides de stratégies de réponses aux pollutions en mer m'ont alors donné une connaissance et une compréhension plus précises des techniques actuelles en termes de conditions de fonctionnement, performances et limites.

Les tests menés par OHMSETT sur les différents matériaux et technologies de récupération du pétrole font systématiquement référence à des standards ASTM¹ pour les protocoles de test employés. Ces standards sont utilisés quasi systématiquement dans les industries qui produisent et utilisent de telles technologies, mais ne sont pas disponibles gratuitement. J'ai donc dû me procurer et étudier ces standards, qui me donneraient également une bonne base pour la mini campagne de test sur matériaux absorbants prévue à Rotterdam.

Identification		Data provided by manufacturer			
Reference	Manufacturer	Length (m)	Diameter (m)	Weight (kg)	Absorbency (L)
WB410SN	SpillTech	3.00	0.10	1.60	18.50
6018-A	VandoClean	6.00	0.13	5.00	90.00
WB520SN	SpillTech	6.00	0.13	5.00	56.80
5220	UltraTech	1.80	0.13	2.27	37.90
WB510SN	SpillTech	3.00	0.13	2.50	28.40
ENV510	SPC - Brady	3.00	0.13	2.20	30.30
6016-B	VandoClean	5.00	0.20	9.00	155.00
SPC816-E	SPC - Brady	5.00	0.20	9.10	114.00
SPC810-E	SPC - Brady	3.00	0.20	5.25	79.00
WB820SN	SpillTech	6.00	0.20	7.25	71.90
WB810SN	SpillTech	3.00	0.20	3.63	36.00
ENV810	SPC - Brady	3.00	0.20	4.30	61.50
BOM510	Dawg Inc.	3.00	0.13	?	30.25
BOM820	Dawg Inc.	3.00	0.20	?	61.50
BOM820G	Dawg Inc.	6.00	0.20	?	123.00
T270	3M	3.00	0.20	5.50	65.00
T270GA	3M	5.00	0.20	8.50	110.00
T280	3M	3.00	0.20	2.75	38.00
T4	3M	1.20	0.08	0.46	3.75
T8	3M	2.40	0.08	0.92	7.50
T12	3M	3.60	0.08	1.38	11.25

Caractéristiques de certains boudins absorbants industriels

En parallèle, je commençais à me documenter en profondeur sur le système que Protei utilise pour récupérer le pétrole, à savoir les boudins absorbants. Matériaux, capacités — selon les constructeurs, scénarios d'utilisation actuels, déploiement et surtout récupération et traitement après utilisation. A ce sujet, il faut savoir que les boudins traditionnels en polypropylène — que Protei utilise à l'heure actuelle — ne sont pas réutilisables et que dans la plupart des pays, une lourde législation est imposée aux déchets souillés par le pétrole. En pratique, il faut payer cher des entreprises tierces pour que ces boudins soient, le plus souvent, brûlés ou enterrés dans des sites spécialement prévus à cet effet. Autant dire que les objectifs

¹ American Society for Testing and Materials

environnementaux de Protei ne sont pas encore tous atteints. Mais lors de mes recherches, je découvrais de nouveaux matériaux en cours de développement par plusieurs compagnies américaines sensés être réutilisables après essorage. J'ai pris contact avec eux (voir extraits de mails avec Aeroclay en annexe) afin d'en savoir plus et surtout d'obtenir quelques échantillons pour pouvoir les tester à Rotterdam. L'une de ces compagnies, Aeroclay Inc., a été très intéressée par notre projet et s'est montrée désireuse de travailler avec nous. Ils nous ont envoyé à Rotterdam des échantillons de leur matériau de type aérogel très peu dense et supposément pouvoir être essoré à de nombreuses reprises sans perte de performance. DNV a dû signer un accord de confidentialité pour que les résultats de nos tests soient tenus confidentiels et systématiquement communiqués à Aeroclay.

Afin d'en apprendre plus et de présenter Protei à de futurs collaborateurs potentiels, j'ai également rencontré les partenaires suivants :

- SINTEF SeaLab à Trondheim (NO), un institut de recherche norvégien sur les problématiques de protection de l'environnement marin et les réponses aux marées noires. Ils possèdent des équipements permettant d'étudier le comportement du pétrole sous différents paramètres (courants marins, exposition lumineuse, salinité des eaux, etc.) ainsi que l'efficacité de certains matériaux ou technologies de récupération du pétrole. Très intéressés par le projet, ils ont suggéré l'application de Protei à la collecte des eaux rejetées par les plateformes pétrolières offshore qui contiennent une légère fraction de pétrole. En effet, SINTEF a étudié les rejets continus d'une plateforme norvégienne (Troll B, voir annexe) et bien que les taux de rejet soient inférieurs aux recommandations Oslo-Paris (30 mg/L), on peut voir des nappes de pétrole extrêmement fines (épaisseur inférieure à $1\mu\text{m}$) s'étaler sur des dizaines de kilomètres.
- OljeMuseum à Stavanger (NO) Musée du Pétrole : visite guidée gratuite du musée, où l'on découvre les enjeux passés et actuels du pétrole en Norvège : sécurité, développement durable, économie, etc. Saviez-vous que le pétrole représente 25% du PIB et 50% des exportations du pays ?
- NOFO à Kystverket (NO) : rencontre du responsable de la logistique des plans de réponse d'urgence en Norvège. Très conservateurs et un peu paniqués à l'idée de voir un robot automatisé traînant une queue de 30m sur l'eau au milieu de leur flotte, ils estiment que Protei est un projet intéressant car très innovant et «out-of-the-box» mais qui nécessite encore beaucoup de travail sur l'aspect «collection du pétrole» et sur le cycle de vie de Protei : construction, déploiement, récupération, maintenance, traitement des matériaux souillés, fin de vie,

Une fois toute cette documentation assemblée et le conseils reçus des experts mentionnés ci-dessus, j'étais en mesure de commander des boudins absorbants aux Pays-Bas pour l'équipe. Comme je savais que j'allais mener une petite campagne de test, j'ai également commandé des feuilles de tissu absorbant afin de comparer leur efficacité dans les conditions nominales que nous nous étions fixées pour Protei, à savoir des nappes fines et du pétrole léger mais non inflammable (comme le diesel, par exemple). Cependant, j'ai vite constaté que la résistance mécanique à la déchirure des ces feuilles était nettement insuffisante pour envisager de les employer pour Protei, sensé opérer même dans de mauvaises conditions météorologiques.

Une fois à Rotterdam, j'ai mis en place un protocole de test semblable aux standards ASTM évoqués précédemment (voir protocole de test en annexe) pour comparer les échantillons de polypropylène classique et ceux d'Aeroclay. J'ai dû me procurer du diesel à la pompe ainsi qu'une cellule de test en plastique (40x30x10 cm) pour mener à bien les tests prévus. Même si je n'ai pas testé autant que souhaité les matériaux que j'avais à ma disposition en raison de mon implication dans la fabrication du prototype, les

résultats ont été suffisamment concluants pour nous donner confiance dans la technologie d'Aeroclay pour le futur de Protei.

Cycle #	Total oil absorbed (O _s)	Net oil remaining (O _N)	Ratio O _s /S ₀
1	168 g	82 g	9.33
2	164 g	86 g	9.11
3	162 g	90 g	9
4	142 g	80 g	7.89
5	148 g	80 g	8.22
6	148 g	82 g	8.22

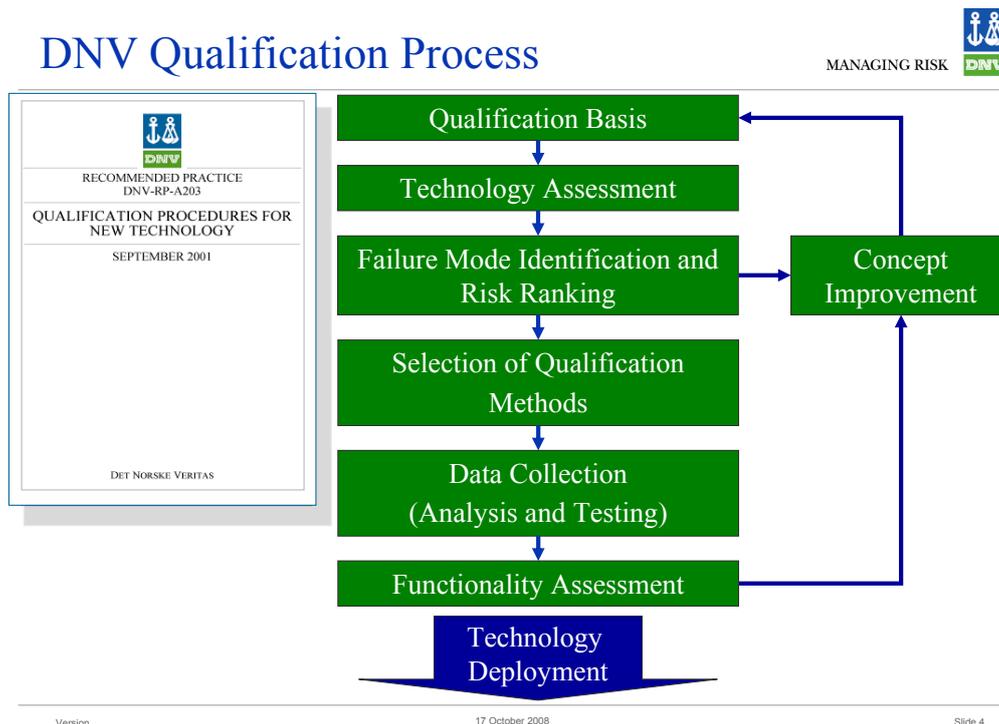
AeroClay® saturation results

Cycle #	Total oil absorbed (O _s)	Net oil remaining (O _N)	Ratio O _s /S ₀
1	102 g	62 g	7.29
2	94 g	58 g	6.71
3	88 g	52 g	6.29

Polypropylene saturation results

2. Technology Qualification

DNV possède une longue expertise de conseil dans le domaine des nouvelles technologies marines telles que les tankers, les plateformes pétrolières flottantes et autres. Leur approche systématique des nouvelles technologies est un processus leur permettant de garantir qu'une technologie fonctionnera correctement dans un cadre spécifié, qui rassemble principalement les conditions de fonctionnement ainsi que les marges admissibles. Ce processus itératif est divisé en plusieurs étapes devant aboutir théoriquement à la mise en place de la technologie étudiée.



Etapes du processus de qualification des nouvelles technologies pour DNV

Protei est bien loin d'approcher la taille ou le coût des technologies que DNV étudie habituellement — et qui justifient généralement une étude approfondie — mais DNV était intéressé de voir ce que donnerait l'application de tous les standards DNV à un projet aussi extra-ordinaire — au sens propre du terme — que représentait Protei. En effet, DNV possède une base de standards sur lesquels les consultants peuvent

s'appuyer pour classer et évaluer les risques des nouvelles technologies qui leur sont soumises. En particulier, il existe une classe OILREC de navires destinés à la récupération du pétrole en mer. Pour être classifié OILREC, il faut satisfaire à une série de conditions telles que posséder les éléments suivants :

- un pont adapté aux opérations de récupération du pétrole
- des réservoirs de stockage du pétrole récupéré
- des tuyaux et des pompes permettant de transférer et décharger le pétrole récupéré

Protei ne possède évidemment aucun de ces équipements et on se rend compte bien vite que l'application des standards de classification DNV au projet Protei est assez limitée, car ils portent sur des Design Parameters (DP) et non des Functional Requirements (FR). DNV travaille actuellement à la transformation de ses standards afin qu'ils utilisent des FR plutôt que des DP.

Cependant, le travail d'analyse de Protei à travers une grille systématique prévue à l'origine pour des projets d'envergure industrielle a été très enrichissante, notamment afin d'envisager Protei dans une perspective plus large : cycle de vie complet, analyse de risque, etc.

Le premier livrable pour la qualification de nouvelle technologie est la «Qualification Basis». Ce document décrit les fonctionnalités et le design général de Protei_006 (le prototype construit au cours de l'été) et comporte les sections suivantes :

1. General System Description
2. Layout - list of components
3. Open-source requirements
4. Functionalities
5. Authority requirements
6. Operating principles
7. Quality assurance and reliability
8. HSE requirements

Afin de constituer ce document, j'ai donc dû me plonger dans la compréhension intime de Protei_006 afin d'établir la correspondance entre les objectifs (Functionalities) et les solutions retenues (Operating Principles). C'est ainsi que je reconstitue —à posteriori— la matrice de Suh de Protei_006 :

D1	Flexible hull
D2	Front rudder
D3	Control of the sail
D4	Ballasted keel
D5	Light superstructure
D6	Neoprene skin
D7	Buoyancy system
D8	COLREGS compliant lights
D9	Pulling force
D10	Boom hooking point
D11	Xbee module
D12	GPS module

F1	Shape shifting
F2	Steerable while towing
F3	Optimised to sail upwind
F4	Self-righting
F5	Unsinkable
F6	Robust
F7	Collision-safe
F8	Can tow a sorbent boom
F9	Can be radio-controlled up to 500m
F10	Can navigate between pre-determined way points

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
D1	X									
D2	X	X								
D3			X							
D4				X						
D5				X						
D6					X	X	X			
D7					X					
D8							X			
D9								X		
D10								X		
D11									X	
D12										X

Matrice de Suh de Protei_006

Une matrice de Suh relativement diagonale s'impose assez naturellement car le prototype a été construit en apportant pour chaque fonctionnalité désirée une solution particulière.

Ce qu'il est intéressant de constater, c'est que Protei n'est finalement qu'assez peu innovant en termes de technologie. Hormis la coque flexible, tous les autres éléments de Protei sont assez bien maîtrisés. La voile, la robotique, la collecte du pétrole, etc. sont des domaines très classiques et dans lesquels notre niveau de connaissance était bien insuffisant pour prétendre à une quelconque innovation. En revanche, l'innovation singulière de Protei est l'application de la voile à la collecte du pétrole. Ce domaine d'application ouvre un champ d'exploration totalement nouveau, qui mérite bien l'approche systématique de DNV par rapport aux nouvelles technologies.

3. Assister l'équipe dans la construction et les tests de Protei_006

Ma dernière mission, loin d'être la moins prenante, a été d'assister l'équipe Protei dans le processus de fabrication et de test de Protei_006. Tout était à construire, et souvent à partir de rien. Je ne dis pas que nous avons dû réinventer la roue, mais chaque pièce composant Protei a été fabriquée (ou assemblée) manuellement par l'équipe dans l'atelier de Rotterdam, hormis quelques pièces critiques que nous avons fait fraiser sur-mesure par des professionnels locaux. Je dirais que nous avons été des bricoleurs professionnels, car nous avons une palette d'outils (marquage, découpage, assemblage, etc.) absolument impressionnante ainsi qu'une grande variété de matériaux disponibles (PVC, tissus, bois, Plexiglass, néoprène, etc.). Cependant, il est évident que malgré notre grande palette des possibles, nos choix de conception ont été très influencés par ce que nous avons «sous la main» et qui évitait des investissements en temps et en argent.

Un des éléments dont la conception et la réalisation m'a été confiée fut le système mécanique de contrôle de la voile, auquel nous référions (abusivement) comme le «winch». L'objectif était de pouvoir agir sur la tension de la voile de façon automatique. La solution retenue consistait en un tambour autour duquel



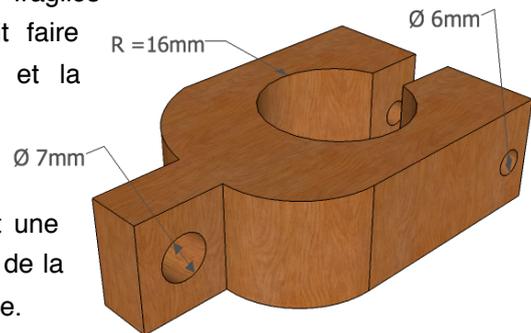
Arbre et tambour du winch

s'enroulait l'écoute de grand-voile. L'arbre du tambour est connecté directement à l'arbre de sortie d'un moteur à courant continu — nous avons utilisé un moteur d'essuie-glaces pour voiture de tourisme, car ils disposent d'un démultiplicateur intégré. J'ai donc fait un premier dessin de la solution sur SolidWorks pour dimensionner de façon précise les pièces dont j'allais avoir besoin : le tambour, l'arbre, les guides, etc.

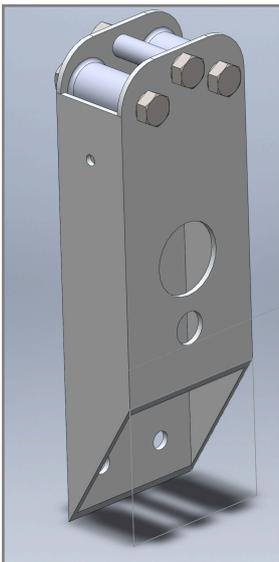
Pour choisir les dimensions, je suis parti des dimensions de l'endroit où le composant allait s'insérer. Il fallait en effet arbitrer entre deux contraintes : pouvoir tenir à l'intérieur du prototype et assurer une robustesse suffisante. Comme l'espace était très réduit à l'intérieur de la coque et les matériaux fragiles (bois et mousse), il fallait faire bien attention à l'endroit et la façon de se fixer au squelette

de Protei.

Puis, pour raccorder la voile à l'écoute, nous avons construit une petite pince en bois (voir ci-contre à droite) qui s'insère autour de la baume et permet d'accrocher un petit anneau où est fixé l'écoute.



Pince de baume



Roulements pour la poulie double du winch

Enfin, pour démultiplier l'effort nécessaire et augmenter la précision de contrôle sur la voile, nous avons construit un système de poulie double (voir ci-contre à gauche). Encore une fois, nous avons dû ruser pour que le système s'insère correctement sur le squelette de Protei. Le trou central sert en effet uniquement à laisser passer une des épines longitudinales du squelette de Protei.

J'ai pu constater au cours de la conception et de la fabrication de ces éléments que notre designer en chef, de l'école allemande, était clairement le cerveau du design de Protei. En effet, en plus d'en avoir dessiné les grandes lignes et fabriqué le squelette, il avait également pensé à toutes les choses qui allaient ensuite se rajouter (comme le winch, l'électronique, les moteurs, etc.) alors que leur conception avaient été confiée à d'autres personnes. Le processus d'intégration des sous-modules a donc été rapide et efficace.

Pour la fabrication, nous disposons d'une foule d'outils, allant des plus simples (tournevis, marteau, scie, etc.) aux plus complexes (perceuse à colonne, tour d'usinage, disqureuse, etc.) en passant par les plus spécifiques (coupe-tube, colles spéciales, pointeau, pince à sertir, etc.). Nous disposons également d'une grande palette de matériaux, la plupart issue de récupération.



Derniers ajustements pendant un test

J'ai également apporté mon aide pour les tests de Protei_006, dont la plupart se sont déroulés dans le port de Rotterdam. Il fallait principalement assurer la mise à l'eau du prototype et parfois le suivre à la nage pour éviter qu'il ne parte à la dérive. De plus, comme la queue absorbante mesurait près de 30m, il était nécessaire de l'accrocher une fois Protei_006 mis à l'eau. Je devais donc me résoudre à enfilez ma combinaison et plonger dans les eaux troubles et froides du port de Rotterdam pour la réussite de notre projet.

Malgré tous les protocoles de tests quantitatifs que nous avons préparés pour évaluer les performances de Protei, nous n'avons jamais vraiment été capables de les mettre en application, car nous étions très en retard sur le planning. Les tests étaient donc uniquement qualitatifs, afin de déterminer si le prototype fonctionnait globalement et d'identifier les problèmes à résoudre.

Enfin, un de mes rôles fut de participer à la rédaction de la documentation de Protei, sous la forme d'un handbook d'une centaine de pages. Ce handbook présente l'intégralité du projet Protei : son histoire (origine de l'idée et premiers prototypes), ce qui a été fait pendant l'été 2011 à Rotterdam, et les plans pour le futur. La répartition du contenu est la suivante : 30% sur l'histoire, 50% sur Protei_006 et 20% sur les projets futurs. Ce handbook, dont la réalisation a demandé beaucoup d'efforts à l'équipe, tant sur le fond que sur la forme, était une des contraintes principales que

Construction patterns

Constructing the skin

Riveting

Six straps are cut from rip-stop material, and the lengths correspond to the circumference of each bulkhead (the cross sectional pieces of the hull). We used left-overs from the sail material to create these straps. Each strap is positioned around a bulkhead with a hole drilled through for the rivet. Each rivet is fastened, starting at the bottom of one side.

If the rivet is hard to insert, it can be gently hammered. The strap is pulled tight and worked around the segment. This procedure is repeated for each segment, except for the first bulkhead, on the bow. This one is not riveted. Instead, a few inches of skin is sewn closed around it, to seal the nose so the skin can be slid over the frame. Note that the central segments of skin on each bulkhead should only be attached on the one side of the hull, allowing the skin on the other side to remain loose so the electronics inside the hull can be reached.

Reinforcing the edges

Because the edges tear rather easily without reinforcement, the skin is reinforced with rubber on every edge section, particularly at the bottom where it connects to the keel, and on the slits where winch and the mast poke through. (These slits are cut afterwards and not shown in the pattern cut-outs).

Above, right, and right-above: bicycle inner tubes have been cemented to the edges of the EPDM-Foam to prevent tearing.



Above: the skin should be gently draped over the hull prior to riveting it to the bulkheads.



Left: the completed rivets. The white strap is the «rip-stop» material.






Protei Handbook | v2011 09.02 | CC BY-SA-3.0 | contact@protei.org | p. 55 / 99

Exemple d'une double-page du Handbook

nous devons respecter pour adhérer pleinement à la philosophie du open-hardware. En effet, nous y expliquons en détail la façon dont nous avons construit Protei_006 avec une quantité impressionnante de photos, de schémas et de dessins techniques. Ce document s'ajoute aux fichiers originaux de conception

(programmes informatiques, fichiers DXF d'usinage, modèles 3D, etc) pour constituer la «source» de Protei_006, à partir de laquelle il est possible pour n'importe qui, en théorie, de fabriquer un Protei similaire chez lui. En pratique, nous nous adressons à des gens ayant une certaine dose de compétences en mécanique et bricolage, dont des bases sont requises pour comprendre le fonctionnement de Protei et la façon dont nous l'avons conçu.

Quelques nuits à travailler sur InDesign®, le fameux logiciel de PAO, ont été nécessaires à la mise en page et à la finalisation du livre, avant d'être finalement publié chez Lulu, un site Internet d'auto-publication, sous l'ISBN 978-1-105-01895-4.

L'endroit où nous travaillions était un entrepôt sur le port de Rotterdam, vide au début de l'été, et qui a été rempli au fur et à mesure par des matériaux de récupération, des outils, des machines, des plans de travail,



L'atelier de Protei sur le port de Rotterdam

des paper-boards, etc. Nous n'étions pas dans des bureaux et ne subissions la pression d'aucune entité «supérieure». Et pourtant, nous passons la plus grande partie de notre temps à l'atelier (parfois plusieurs jours d'affilée) car nous étions tous profondément motivés par le projet auquel nous étions en train de participer, car nous avons le sentiment de faire quelque chose d'utile, et pas seulement quelque chose qui servirait éventuellement à quelqu'un dans 20 ans.

4. Enseignements et discussions

1. La collaboration entre designers, ingénieurs et artistes

Un des grands préjugés que j'avais en arrivant à Rotterdam était que les rôles respectifs des designers, ingénieurs et artistes dans un projet d'ingénierie étaient les suivants : les ingénieurs conçoivent la technologie, organisent la production et les tests, et sont les cerveaux du projet. Les designers conçoivent les usages du produit, la cible, dessinent éventuellement la ligne et organisent la communication. Quant aux artistes, ils conçoivent et déclinent l'identité du produit sous forme graphique. J'avais tort.

Après avoir travaillé trois mois avec des élèves ingénieurs, des designers et des artistes, je dois dire que j'ai été fortement surpris de constater en premier lieu que les designers en savent parfois beaucoup plus que les ingénieurs sur la technique. Je ne parle pas de haute technologie ou de domaines scientifiques complexes mais bien de technique au sens simple du terme, c'est-à-dire la manière d'accomplir une tâche qui n'est pas immédiatement évidente². Sebastian, notre designer en chef, et Cesar, notre coordinateur, qui n'ont pas une formation scientifique (Ecole Boulle et Royal College of Art pour Cesar, University of Art and Design et Design Academy d'Eindhoven pour Sebastian) étaient des rois de la technique. Quelque soit l'idée folle qu'ils couchaient sur le papier, ils savaient immédiatement comment la réaliser, avec les bons outils, les bons matériaux, les bons procédés. Mais le plus frustrant, c'est que toutes leurs réalisations étaient systématiquement belles. Graphiquement harmonieuses, agréables à l'oeil, car ils embrassaient instinctivement le principe universel que ce qui est beau doit fonctionner bien. Pour nous autres ingénieurs, il suffit généralement que «ça marche» pour que nous soyons contents et ayons le sentiment d'avoir accompli notre devoir. Pour eux, seule comptait la perfection.

Une anecdote à ce sujet : Sebastian m'avait chargé de trouver quatre vis creuses pour régler la tension des câbles assurant le contrôle du squelette. Les vélos utilisent ce genre de vis, mais après une matinée de recherches dans les boutiques de cycles de la ville, force fut de constater qu'elles étaient toutes trop courtes. Sebastian absent, je prenais donc l'initiative d'usiner moi-même des vis creuses à partir de vis classiques, car nous étions déjà bien en retard. Il faut savoir que creuser un trou longitudinal de 3mm dans une vis de 4mm de diamètre est une opération longue et fastidieuse : il faut procéder par petites étapes successives, huiler à chaque passe, et faire attention à ne pas briser le foret. Mais au bout de 2h de travail, les vis étaient prêtes. Au retour de Sebastian, je lui montrais mes vis. Il me dit simplement «this is not stainless steel, you have to do it again». J'essayais d'argumenter avec lui que l'acier inoxydable était encore plus dur à percer, que nous n'allions pas mettre Protei dans l'eau même pour l'exposition, et que nous manquions de temps, mais rien n'y fit. Comme je devais travailler sur une autre pièce, Gabriella se chargea pendant la nuit d'usiner les vis en inox, ce qui lui prit deux fois plus de temps qu'avec des vis en aluminium et 2 ou 3 forets supplémentaires. Et même si je rageais intérieurement contre la décision prise par Sebastian qui allait à l'encontre du compromis que j'avais choisi en tant qu'ingénieur ayant à arbitrer entre différentes

² définition issue du dictionnaire libre Wiktionnaire

contraintes (le temps, le fait d'avoir un prototype prêt pour l'exposition, le prix, etc.), je pense aujourd'hui qu'il a pris la bonne décision. Car les pièces ne seront jamais changées sur ce prototype, et que si elles viennent à rouiller, elles n'assureront plus leur fonction. Nous n'avions pas les mêmes perspectives et la même approche du projet.



La discussion n'est pas toujours facile

L'adoption du principe «beau=bien» a largement inspiré nos décisions sur le design de Protei, puisque, comme mentionné précédemment, aucun de nous n'avait de formation ni d'expérience en architecture navale. Par exemple, la coque flexible est inspirée du mouvement des poissons dont il a été montré qu'ils consomment beaucoup moins d'énergie pour se déplacer dans l'eau que les bateaux ou les sous-marins. Nous n'avons toujours aucun résultat scientifique prouvant que Protei sera plus manœuvrable ou plus économe en énergie grâce à cette technologie, mais nous en avons l'intime conviction. Parce qu'avec les mains, ça marche. Et ça, pour un ingénieur, c'est dur à accepter.

D'autre part, l'équipe étant composée d'à peine 10 personnes et sous la responsabilité d'à peu près personne (je dis à peu près car V2_, l'institution d'art et média qui nous hébergeait, et les 300 personnes ayant donné de l'argent pour le projet, attendaient des résultats concrets), nous n'avions absolument aucune hiérarchie. Cesar, inventeur et coordinateur du projet, jouait autant que possible le rôle de chef de projet pour planifier les tâches, assurer la communication entre les différents métiers (électronique, mécanique, etc.) et donner la vision à long terme de Protei. Mais globalement, nous fonctionnions en horizontal, et chacun participait un petit peu à l'organisation du projet. Et lorsque des désaccords survenaient (et cela est arrivé plus d'une fois), c'était l'expérience qui primait. Et la raison juste derrière. Sauf que les ingénieurs et les designers ne raisonnent pas du tout de la même manière. Lorsque les «ingénieurs» du projet disaient qu'il fallait tester à fond la technologie actuelle de flottaison avant de passer à autre chose, et que Cesar voulait absolument tester d'autres méthodes, le dialogue n'était pas facile. Heureusement, nous avons

appris à nous connaître très vite, puisque nous passions à peu près l'intégralité de notre temps ensemble. Le dialogue était donc facilité par cette proximité que nous avons tissé au cours du projet, et cela nous a permis d'explicitier systématiquement les fondements de nos raisonnements.

Par exemple, si Cesar voulait passer à une autre méthode de flottaison, c'est parce que toute la genèse du projet a été un enchaînement rapide de plusieurs prototypes chacun destinés à tester une hypothèse (gouvernail à la proue, coque gonflable, etc.). Par conséquent, il avait envie de continuer dans cette voie en testant un maximum d'hypothèses dans le temps qui nous était imparti. De l'autre côté, les ingénieurs raisonnés voulaient tester au maximum une technologie en particulier pour pouvoir l'améliorer et l'abandonner en pleine connaissance de cause si nécessaire. Le plus intéressant pour moi a donc été de voir les ingénieurs et les designers décortiquer les schémas de conception et d'organisation de projet qu'ils appliquaient systématiquement sans même en avoir conscience et en discuter sur un projet tout à fait novateur en terme d'organisation, de budget et d'objectif.

En conclusion, j'ai découvert que l'intérêt d'inclure des personnes de formations différentes dans une équipe de conception est de pouvoir croiser les approches de chacun à la fois en terme de vision (que veut-on accomplir?) et de technique (comment veut-on l'accomplir ?) et d'en retirer le meilleur. Et que chaque approche, celle de l'ingénieur comme celle du designer, a ses limites.



Mais on est une équipe avant tout

2. Innovation et low-cost

Un des autres préjugés que j'avais en arrivant était que l'innovation était synonyme de gros budgets. Car il faut financer des équipes de recherche, des équipes de développement, et que le coût de revient d'un prototype est toujours bien supérieur à son coût de production en raison des économies d'échelles, et qu'il faut toujours inclure un budget «pour se tromper», qu'il faut racheter des brevets, etc.

Et l'innovation vient toujours de quelque chose de nouveau, donc technologique, donc cher.

Protei vient doublement challenger cette vision étroite de l'innovation. D'une part parce que le budget de développement de Protei_006 était ridicule (30.000\$ levés pour l'été) et que nous avons donc développé un produit low-cost, mais surtout parce que nous nous sommes attachés à développer une technologie accessible universellement, donc peu complexe. Low-cost et low-tech ont été les maîtres mots du projet car ils sont l'essence même du produit que nous cherchons à développer. Que des pêcheurs à Bali puissent fabriquer leur propre Protei était systématiquement dans nos têtes. Ce qui peut sembler comme une contrainte à un premier abord, car nous n'avions pas la marge de manoeuvre d'un projet à gros budget est en réalité une façon extraordinaire de se libérer des effets de fixation qui peuvent apparaître lorsqu'on n'est pas contraint par l'argent. En effet, plutôt que d'acheter des sous-modules tout prêts issus d'un catalogue qui discrétise l'espace des solutions mais qui assure une certaine qualité, ce qui est la solution de facilité lorsqu'on a de l'argent, nous avons été obligés, sans réinventer la roue non plus, d'innover sur chaque composant de Protei. Innover pour trouver une solution plus simple, plus économe, plus adaptée à notre projet.

Cependant, une des premières limites de ce modèle que nous avons atteinte rapidement est l'assurance de qualité. Comme mentionné précédemment, l'avantage de payer une pièce sur catalogue est également de s'assurer de sa qualité. Lorsqu'on fait tout soi-même, on s'expose *de facto* à des problèmes de qualité. L'illustration parfaite de ce problème réside dans les actionneurs linéaires, deux pièces critiques de



Détail d'un actionneur linéaire ancienne génération

Protei_006. Ces actionneurs linéaires servent à contrôler le squelette de Protei en actionnant des câbles qui font plier la structure flexible et imposent ainsi le cap du robot. Pour des raisons de ballast et de géométrie, ils sont situés au bas de la quille, sous environ 1,5m d'eau en permanence. Conçus dans une forme cylindrique, ils sont encapsulés dans un tube PVC qui assure l'étanchéité de l'ensemble. La première version de ces actionneurs linéaires a été réalisée avec des disques en bois (voir ci-contre à gauche) et des joints de transmission faits de tuyaux d'arrosage et de colliers de serrage. Ils avaient l'avantage d'être faciles à fabriquer, donc faciles à

réparer et faciles à usiner, donc modifiables à la demande. Cependant, après une bonne série de tests, nous avons constaté qu'ils n'étaient pas assez robustes et que la transmission n'était pas assez fiable (pertes d'adhérence malgré le collier de serrage). Deux choix s'offraient à nous : acheter des actionneurs linéaires industriels ou améliorer notre modèle. Fidèles à notre philosophie (mais après d'intenses discussions), nous avons décidé d'améliorer notre modèle en faisant usiner les disques dans de l'aluminium par des professionnels et en remplaçant les joints «souples» par des joints «durs» (voir ci-dessous)



Vue d'ensemble d'un actuateur linéaire nouvelle génération

Le problème de faire usiner des pièces sur-mesure par des professionnels était bien évidemment le coût engendré par l'usinage et la main d'oeuvre (nous disposons de la matière première). Fort heureusement, nous avons réussi à nous faire sponsoriser pour l'occasion par un industriel néerlandais qui a accepté d'usiner gratuitement les quelques pièces dont nous avons besoin.

Et on atteint ici la seconde limite de l'innovation low-cost, qui est d'être quasiment systématiquement intégrée à des démarches de mécénat ou, au mieux, de partenariat. On peut se demander légitimement si le fait d'avoir fait usiner les disques des actuateurs linéaires par un professionnel correspond totalement à la philosophie DIY³ et low-cost de Protei. De même, les 30.000\$ mentionnés précédemment ont été levés via Kickstarter, un site de crowd-funding. V2_, l'institut qui nous hébergeait, a également participé en payant pour une partie de nos dépenses. Beaucoup de sponsors se sont rendus nécessaires par leur aide, qu'elle soit matérielle, financière ou académique. Même si la collaboration avec des partenaires extérieurs peut parfois être un frein à l'innovation, il est dans la philosophie de Protei d'être supporté par un réseau d'acteurs variés : investisseurs, académies, industries, etc. afin de garantir sa pérennité et son acceptation par la communauté.

Enfin, un des autres aspects intéressants de l'innovation low-cost a été l'utilisation d'outils de conception et de collaboration disponibles pour le grand public. La suite Google Apps, en particulier l'outil Google Documents, pour collaborer à plusieurs sur des documents en ligne; Skype, pour mettre facilement en place des conférences téléphoniques; SketchUp et SolidWorks (dont une série de licences étudiantes a été gracieusement accordée par Dassault Système pour la durée du projet), pour la modélisation 3D; Crocodoc, pour la revue collective de documents en phase de finalisation, ont été des outils indispensables au cours du projet, notamment car nous travaillions avec des collaborateurs du monde entier. Ces outils ont décuplé notre vitesse de développement car nous avons un retour très rapide sur ce que nous faisons. De plus, nous n'avons aucun rapport à remettre à nos supérieurs (puisque nous n'en avons pas) ni aucune démarche de type administrative qui aurait pu nous ralentir. Cependant nous devons tout faire nous-même : tenir les comptes, passer nos achats, déboguer nos ordinateurs, gérer nos plannings, etc.

En comparaison avec DNV, où j'ai passé quelques semaines, le fonctionnement de Protei est bien différent. DNV a une approche très systématique, très protocolaire, toujours pilotée par le budget, avec une chaîne hiérarchique précise et des fonctions support nettement identifiées. Car ils ont l'habitude des projets à très gros budgets (plateformes pétrolières, tankers, etc.), et qu'ils ne peuvent pas se passer de leurs infrastructures de travail en termes d'organisation (qui fait quoi) et de processus (quelles étapes à valider).

En conclusion, la restriction budgétaire qui nous était imposée nous a permis de nous affranchir dans une certaine mesure de la discrétisation de l'espace des solutions (l'effet catalogue) et nous a obligé à concevoir de nouveaux processus propres au développement de Protei. Cependant nous avons dû admettre que nous n'étions pas experts dans tous les domaines, qu'ils soient technologiques (les actuateurs linéaires) ou bien support (gestion projet, budget, informatique, etc.)

³ Do-It-Yourself

3. Business-model de l'innovation open source

Protei est un projet open-source. Sa conception est publique afin que quiconque puisse étudier, distribuer, modifier, fabriquer et même vendre des produits basés sur Protei. Pour comprendre l'intérêt de faire de Protei un business open-source, il faut d'abord comprendre les objectifs d'un business traditionnel. Un business traditionnel a un classement des priorités comme suit :

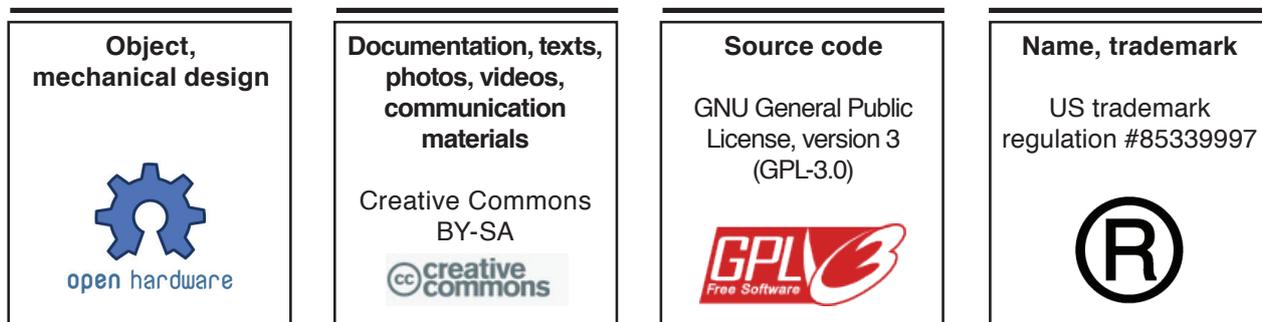
1. le bénéfice est l'objectif suprême
2. la technologie est le moyen pour parvenir au bénéfice
3. les personnes sont la force de conception ou d'utilisation de la technologie
4. et enfin la nature se résume bien souvent à une simple valeur ajoutée.

Protei tend à renverser ce classement pour parvenir à la pyramide suivante :

1. la nature est le plus important...
2. ...car elle permet aux personnes de vivre
3. la technologie est ce que nous utilisons pour atteindre ces objectifs
4. et le bénéfice est une condition nécessaire d'un business durable

Par conséquent, il est essentiel que nous partagions l'intégralité de notre avancement, de nos résultats et de nos plans pour le futur afin d'inclure un maximum de personnes dans notre sillage qui viendront apporter leur expertise, leur assistance, leurs efforts, etc. Protei est bien plus dépendant de sa communauté que de sa technologie.

C'est pourquoi le projet Protei est protégé par 4 «licences» :



Les quatre licences de Protei

Ces quatre licences s'appliquent selon le type de contenu :

- le design (fichiers de conception, DXF, 3D, etc.) sont «Open Hardware»
- la documentation et tous les supports de communication sont «Creative Commons»
- le code source est «GNU General Public License»
- et enfin, ce qui n'est pas une licence à proprement parler, le nom «Protei» est une marque déposée aux Etats-Unis.

Ces licences protègent globalement Protei contre le vol de propriété intellectuelle mais permettent néanmoins à n'importe qui d'utiliser nos travaux dans n'importe quel but (même commercial) à deux conditions :

- que l'oeuvre dérivée soit publiée avec le même type de licence
- que le nom de Protei soit citée (par un lien vers <http://protei.org>)

Cependant, la question la plus importante reste de savoir comment il est possible de dégager des bénéfices alors qu'en apparence tout ce que nous faisons est déjà disponible gratuitement. Il est intéressant de se comparer ici à des modèles de business open-source existants, comme le logiciel libre. Les logiciels libres, dont la réputation n'est plus à faire, basent leur recettes sur les leviers suivants :

- les services (valorisation indirecte) : formation, surveillance, assistance technique, tests et garantie, etc.
- la distribution à valeur ajoutée (valorisation directe) : vendre des versions packagées et garanties de produits existants.
- la licence double : vendre une licence commerciale d'utilisation qui permet d'intégrer le code source à des projets qui ne sont pas open-source.
- la mutualisation : développer une version simple du produit et vendre des modules à la demande. Les modules coûteux peuvent être financés par une communauté de clients ou un club d'investisseurs.

Le business model de Protei n'est pas encore très bien établi, car nous n'avons pas encore identifié de clients potentiels. Une fois que nous aurons lancé une étude de marché et identifié nos cibles client, nous pourrons nous inspirer des quatre leviers de recette ci-dessus pour dégager des bénéfices permettant de transformer Protei en un projet durable. En effet, ces leviers sont tout à fait applicables à notre produit. Les industriels qui pourraient potentiellement être intéressés ne veulent pas prendre tous les risques liés à la maintenance, la formation et la garantie d'un produit aussi innovant que Protei (rappelons tout de même qu'il s'agit d'un voilier robotisé, n'embarquant absolument personne, se baladant sur des marées noires, potentiellement au milieu d'une armée de vaisseaux de récupération...). D'autre part, certains projets développés avec des brevets pour des entreprises voudront peut-être récupérer une partie de notre technologie (coque flexible, code source, etc.) pour l'intégrer à un produit propriétaire, et n'hésiteront pas à s'acquitter d'une redevance pour obtenir une licence commerciale nécessaire à l'intégration de notre technologie dans un produit non open-source.

Toutefois, là où le logiciel libre a du innover sur ses leviers de recette en raison de son aspect immatériel, Protei peut tout de même se raccrocher au fait qu'il propose un produit physique identifiable dans l'espace. Même si l'équipe est unanimement d'accord pour dire que Protei ne se transformera pas en usine de production de drones miniatures, il n'est pas exclu que nous basions également nos recettes sur la vente de produits, en kit par exemple.

On peut également imaginer de monétiser des conférences ou des présentations de Protei si le projet devient populaire.

Quoiqu'il en soit, il est évident que l'aspect open-source et orienté nature du projet nous oblige une fois de plus à penser de nouvelles solutions pour Protei, afin d'en faire une affaire durable.

4 . Annexes

1. Extraits d'échanges par mail avec Aeroclay Inc.

Hello

My name is François de la Taste and I am currently working for a Norwegian company on an innovative an open project called Protei (more info on <http://protei.org>), a sailing drone that can collect oil spills at sea. We are building the sixth prototype in Rotterdam this summer.

The design of the oil-collection system is not finished yet but we are focusing on light oils and relatively calm weather conditions. Therefore I would like to know a bit more about your Aerogel oil-sorbent product.

- is it reusable ? can we squeeze the oil out of it and reuse the sorbent material?
- is it possible to make booms or sheets out of it ?
- what is the average Oil Recovery Efficiency on light oils ?

If we can make a boom out of it (let's imagine a 10 ft long, 8" diam boom) :

- what would be its weight ?
- how much fluid can it absorb ?
- does it float even after having absorbed the fluid ? do we need to provide buoyancy system ?

- what configuration would you recommend to maximize the efficiency of our system ?

We can arrange phone/skype meeting if you want to learn more about the project or discuss of our request in greater depth.

Thank you in advance for your time.
Best regards

On behalf of the Protei project

François de la Taste

Intern

<http://protei.org>

francois@opensailing.net

Skype : canard_bleuFR

Dear Francois,

Thank you so much for your interest in the Aeroclay oil absorbing technology. I can answer some questions you have asked; I prefer to have our Director of Technology field others.

- 1 AeroClay oil absorbent is reusable -- you can squeeze the oil out of it and re-use. We recommend you let the material sit for a period of time before redeploying.
2. Yes, you can make booms out of it or incorporate it into other forms to absorb oil.
3. This material is oleophilic and hydrophobic, so it does not take on the water and should continue to float without the need for a buoyancy system.
4. Clearly, the more open surface areas the more quickly or more efficiently the material absorbs oil. If you saw the video on our website you should note that we used "crumbled" pieces of our material as it provides the most surface area.

I think it would be best to coordinate a telephone/Skype discussion regarding some of the other questions you raise. Please let me know what your calendar allows. This week June 22 would work on our side; next week, perhaps Monday June 27, Thursday June 30. Let me know what works.

Warm regards,
Lauren Wolf
CEO
Aeroclay, Inc.

If that's OK with you, here is a proposition of how we can organize our meeting :
- presentation of Protei (so if you have any question, I can answer them) : concept, method, goals, objectives, possible application
- questions about Aerogel : possibilities, properties, etc.
- discussion about the best design / configuration for Protei
- possible to order a sample ? Shipping to Chile and Rotterdam.

Looking forward to meeting you and your team
Best regards
On behalf of the Protei project

François de la Taste
Intern
<http://protei.org>
francois@opensailing.net
Skype : canard_bleuFR

Dear Francois,
I hope all is well with you.

Dr. Matt Gawryla is working on the prototyping work plan and it would be helpful if you could tell us how much of our material you would like -- your desired amount as well as the absolute minimum that would be sufficient. We also have material that has been cured two different ways. If it is okay with you, we may send some of both materials, with an emphasis on that which has been tested and that we know performs.

Thank you.

Warm regards,
Lauren Wolf
CEO
Aeroclay, Inc.

Hi Matt and sorry for not getting back to you earlier, we have been so busy working on the prototype...

I have run some tests on the samples you have sent me and here is what I think :

- it works really well, even after many cycles. Especially the "loose material + sock" combination.
- the 10cm x 10cm are too fragile to use on sea, and they are much harder to squeeze efficiently.
- preference for the "hard" version of the material (more enduring)

So I guess if we use your material, we will use non-woven socks (like fish nets) and stuff them with small pieces.

In order to forecast the cost of our product, and compare it with existing solutions, we would like to know the production price of 70,000 liters of your material (which is the volume of the booms we currently use,). Just an idea.

Can you also tell me when you could have th

So right now we are still carrying out some tests (on your product, on regular polypropylene, etc.) and on our sailing boat.

On behalf of the Protei project

François de la Taste

Intern

<http://protei.org>

francois@opensailing.net

Skype : canard_bleuFR

Just a couple of questions:

1. Unofficially you indicated you had tested Aeroclay up to 10 cycles and results were consistent. Can you confirm that to me?
2. Did the polypropylene perform with multiple squeezes on the same sample?
3. It appears that the Aeroclay was much more consistent in performance. Of the 18 gram "pillow" we sent to you, there was 16 g of Aeroclay. If in fact it can be recycled 10 times it increases efficiencies and economics of our application. Is this a reasonable conclusion?
4. The fact that it can be recycled 10 times is important to our company's strategy. Is it possible to get a "Summary Memo" from you just describing what you did, regardless of ASTM requirements?
5. If you would like some text re Aeroclay for purposes of a press release (brief, at that), I can ask our PR consultant to put a sentence together.

I think the results of the work you did with Aeroclay is quite revealing and will be very helpful to our activities.

Do you have time for a brief "Skype"? I am here in my office with my computer in front of me.

Best,

Lauren Wolf

--

Warm regards,
Lauren Wolf
CEO
AeroClay, Inc.

2. SINTEF : présentation Troll B et CR de réunion

Troll B Platform May 03, 1630 2001

Aerial Estimates:

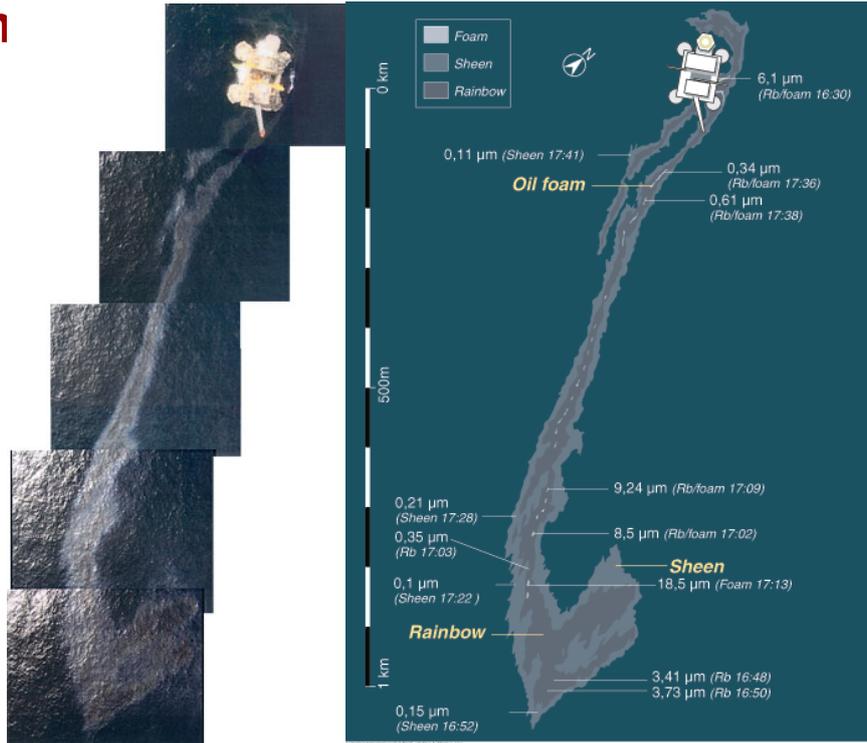
- Length 1000m
- With: 30 m
- Estimated area: 0.04 km²
- 50 %Sheen
- 50% Rainbow

Estimated volume:

- BAOAC:
- 7 L (low) - 106L (high)

Real leases:

- 22.000 m³ / day
- 25 ppm oil
- 600 L oil / day
- 30 L oil / hour



Field data gave good correlation to the established codes 1,2 and 3

Meeting with SINTEF Oil Spill Laboratory

Were present : Per Daling (SINTEF) <per.daling@sintef.no>, Ivar Singsaas (SINTEF) <ivar.singsaas@sintef.no>, Svein Ramstad (SINTEF) <svein.ramstad@sintef.no>, Francois de la Taste (DNV) <francois@opensailing.net>

About the configuration :

- maybe 2 Protei could drag a boom in a U-shape
- the path could be more efficient by making smaller "S" oscillations around the big "S" path
- since the oil is drifting downwind, is it really important to go actually upwind ? is it enough to keep the same position and "wait" for the oil ?
- tow a set of booms like a comb (separated by rigid links) ?
- **tow sheets of absorbing fabric (pads ? rolls ? -> see 3M products) to increase contact surface (+ tow sets of them)**

About the oil-related objectives :

- **start with something small** :
- **light oil and thin slick** (diesel from the gas station, lamp paraffin oil, etc.) because booms are not designed for heavy oils.
- **calm weather**
- one boom
- => see how it reacts and THEN see what else can be done

About the testing :

- go testing on existing offshore platform sheens (platforms always pour back into the sea some oil along with the waste water)
- indoor testing of one boom / one roll

People to contact :

- Steinar Gyltnes (NCA : Norway Coastal Administration) -> for registration issues and legal requirements :

Mr. Steinar Lodve Gyltnes,
Head of R&D
steinar.gyltnes@kystverket.no.

- Sjon Huisman (RWS : Rijkswaterstaat) in La Hague -> for testing offshore

T : +31 70 33 666 31

M : +31 6 53 84 86 73

- Jørn Harald Andersen (NOFO)
Teknologiutvikling - Engasjement
+47 90 50 25 81
+47 33 02 04 19

3. Protocole de test des matériaux absorbants

OBJECTIVE :

Determine the efficiency of two versions of a re-usable oil-sorbent material, AeroClay versus a standard industrial polypropylene absorbent.

EQUIPMENT :

Samples of AeroClay (A and B)

Samples of polypropylene (VandoClean 6016-B & 6018-A)

Scales

SqueezeBox (with a calibrated load of 60kg)

Oil (diesel, density 0.8 g.cm^{-3})

Test cell (plastic box) 40cmx30cmx10cm

PROCEDURE (SATURATION) :

- Weigh the dry sample
- Soak in the saturated test cell for 15min
- Let drain for 30 sec
- Weigh sample
- Squeeze for 15 sec
- Weigh
- Repeat procedure