

# ANTIFOULING ET ENVIRONNEMENT

OUÛ EN SOMMES NOUS ?



L'Agence française pour la biodiversité est un établissement public du Ministère de la Transition écologique et solidaire. Elle exerce des missions d'appui à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de la connaissance, la préservation, la gestion et la restauration de la biodiversité des milieux terrestres, aquatiques et marins.

### **Organiser et développer les connaissances et les savoirs**

Dans le milieu marin, l'Agence participe à l'acquisition de connaissances sur le milieu marin, aux suivis et diagnostics des eaux françaises et des aires marines protégées.

### **Appuyer la mise en œuvre des politiques publiques liées à la biodiversité**

L'Agence participe au suivi de la mise en œuvre des directives européennes et stratégies nationales et contribue à la mise en œuvre des stratégies européennes, nationales et régionales en faveur de la biodiversité

### **Gérer des espaces protégés et appuyer les autres gestionnaires**

L'Agence gère en direct les parcs naturels marins, la moitié des sites Natura 2000 en mer, le sanctuaire de mammifères marins Agoa aux Antilles. Les parcs nationaux sont rattachés à l'Agence qui anime pour eux des groupes techniques d'intérêt collectif

### **Apporter conseil et expertise aux acteurs socio-professionnels**

L'Agence française pour la biodiversité encourage la recherche et l'innovation en soutenant des programmes de R&D et en accompagnant les acteurs économiques ou associatifs.

Elle apporte son appui technique pour la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques de préservation et de restauration de la biodiversité et de ses milieux.

### **Mobiliser et sensibiliser la société**

L'Agence œuvre pour inscrire dans la société, le caractère indispensable de la biodiversité et de promouvoir une large participation citoyenne à la préservation et la reconquête de la biodiversité. C'est en mobilisant et sensibilisant le plus grand nombre de citoyens qu'on parviendra à atteindre ces objectifs.

**Plus d'informations :** [www.afbiodiversite.fr](http://www.afbiodiversite.fr)



Le parc naturel marin : un nouvel outil de gestion dédié à la mer

Créé par la loi du 14 avril 2006, le parc naturel marin constitue l'une des 15 catégories d'aires marines protégées. Le parc naturel marin a pour objectifs :

- la connaissance du milieu,
- la protection des écosystèmes,
- le développement durable des activités liées à la mer.

Composé d'acteurs locaux, le conseil de gestion du parc assure la gouvernance. L'Agence française pour la biodiversité apporte les moyens humains et financiers de tous les parcs mis en place et des missions d'étude qui interviennent en amont et leur permettent de voir le jour.

Le Parc naturel marin d'Iroise vise à la connaissance et à la protection du milieu marin ainsi qu'au développement durable des activités maritimes.

Ces objectifs généraux se déclinent en orientations de gestion propres à l'Iroise et issues de la concertation avec les usagers. Au nombre de dix, ces orientations couvrent tous les enjeux de la mer d'Iroise : patrimoine naturel, qualité de l'eau, pêche professionnelle, activités de loisirs...

Elles sont traduites concrètement dans un plan de gestion, qui offre à la fois une vision globale de l'espace marin sur quinze ans tout en posant un cadre aux actions du Parc.



Fondé par la Fondation Nicolas Hulot, l'Agence des Aires Marines Protégées et l'association « De Navigatio » (dissoute en 2012), le réseau EcoNav est créé en 2009.

EcoNav fédère un réseau d'acteurs, d'entreprises, d'organismes de recherche et de formation, collectivités, associations et particuliers – impliqués dans le développement durable des activités maritimes et fluviales (nautisme, transport, scientifique...)

Ce réseau s'engage à promouvoir les innovations techniques et sociales et les bonnes pratiques pour une navigation durable, conseille les parties prenantes et pilote des actions pour faire de l'éconavigation le fondement de la navigation de demain.

**Plus d'information :** [www.econav.org](http://www.econav.org)



Assemblée élue par les Bretons, le Conseil régional intervient dans la plupart des domaines qui concernent la vie quotidienne et l'avenir de la Bretagne : formation, transports, développement économique, aménagement du territoire, culture, sport, environnement... et bien sûr la mer

Première région maritime de France, la Bretagne entretient une relation privilégiée avec la mer. Elle tire de cette relation toutes les spécificités qu'on lui connaît et reconnaît dans les domaines économique, culturel, identitaire ou encore écologique. Le panorama des activités maritimes en Bretagne est marqué par une extraordinaire diversité (pêche et aquaculture, activités portuaires, tourisme, nautisme, construction navale, etc.). C'est pourquoi la Région mène depuis 2006 une politique maritime intégrée qui met en synergie l'ensemble des domaines en relation avec la mer.

La stratégie mer et littoral

### 3 priorités transversales :

- Améliorer les dynamiques fonctionnelles des écosystèmes marins et utiliser durablement les espaces marins et les ressources maritimes ;
- Éduquer à la mer et former aux métiers de la mer ;
- Innover pour faire de l'économie maritime un pilier de la transition écologique de notre société.

**5 priorités thématiques :** les EMR, la filière halieutique, l'aménagement des territoires maritimes, l'industrie portuaire et maritime, et le tourisme ;

### 2 priorités fonctionnelles :

- la planification spatiale de la zone côtière,
- la structuration des instances de gouvernance à l'échelle des territoires.



Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.



**Une université plurielle :** 3 Facultés, 2 IUT et 1 École d'ingénieurs

Unique université publique en Morbihan, elle est la seule à offrir, un éventail aussi étendu de programmes d'études, allant du DUT au doctorat, en passant par le diplôme d'ingénieur. L'Université Bretagne Sud doit sa croissance et son rayonnement à une tradition d'innovation et de proximité avec ses partenaires qui ne cesse d'animer son action.

Elle compte 3 Facultés à l'Université Bretagne Sud : la Faculté Droit, Sciences Économiques & Gestion à Vannes, la Faculté Lettres, Langues, Sciences Humaines & Sociales à Lorient et la Faculté Sciences & Sciences de l'Ingénieur à Vannes et Lorient.

Se situant aux abords de l'océan, c'est tout naturellement que l'Université Bretagne Sud a intégré les questions maritimes au cœur de ses axes de recherche et de formation. Notre **laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines (LBCM)** et celui des Domaines Océaniques - Géosciences Marines Géomorphologie du Territoire (DO-GMGL) permettent à nos étudiants de Master (« Ingénierie et Gestion des Ressources Côtières » ou encore « Aménagement et développement des territoires maritimes et littoraux ») d'accéder aux connaissances les plus récentes en la matière.

# NOS PARTENAIRES



**LABOCEA** met à votre disposition plus d'un siècle d'expériences cumulées en Finistère, Côtes d'Armor et Ille et Vilaine, ayant permis de capitaliser une forte expertise scientifique et de proposer une haute qualité de service. Ce laboratoire public territorial d'analyses le plus important de France résulte de la détermination de ses membres fondateurs de mutualiser leurs compétences en faveur de la recherche, de la compétitivité et du développement de l'emploi. Ce laboratoire

porte par essence des missions de service public et d'intérêt général destinées à répondre aux besoins de l'Etat, des collectivités territoriales, des professionnels et des particuliers. L'efficacité, la qualité et la compétence technique, l'indépendance et l'impartialité, l'innovation, l'accompagnement et le conseil, la disponibilité et la réactivité, sont autant de valeurs qui font l'essence même de LABOCEA.

## **Le spécialiste de l'eau**

La qualité de l'eau et plus largement de notre environnement est une préoccupation majeure de nos concitoyens soucieux d'avoir un cadre de vie de qualité. Les pollutions d'origines diverses (industrielle, agricole, humaine) peuvent perturber l'équilibre écologique et entraîner des effets immédiats (contamination microbiologique) ou à plus long terme (contamination chimique et en particulier pesticides et métaux lourds). LABOCEA accompagne, depuis de nombreuses années, les collectivités, les industriels et tous les professionnels impliqués dans la surveillance de l'environnement à la fois par des prestations d'analyses mais aussi par des prélèvements et du conseil.



## **Le Conservatoire du Littoral**

Consciente de la valeur écologique, sociale, économique et culturelle de son littoral, la France a fait le choix de préserver une part significative d'espaces naturels littoraux et de les rendre accessibles à tous. L'État a ainsi décidé de créer le Conservatoire du littoral, dont la mission est d'acquérir des parcelles du littoral menacées pour en faire des sites restaurés, aménagés et accueillants dans le respect des équilibres naturels.

## **Délégation de rivages Normandie**

L'histoire et la culture normande sont indissolublement liées à son rivage qui s'étend sur plus de 700 kilomètres du Tréport à la Baie du Mont Saint-Michel. Depuis le début du siècle, il s'est progressivement affirmé comme le rivage du bassin parisien et de l'agglomération parisienne. Les paysages côtiers comme les Falaises d'Etretat, la Baie de Seine, le Mont Saint-Michel magnifiées notamment par les impressionnistes font partie de l'imaginaire collectif, bien au-delà des frontières nationales.

A Chausey, le Conservatoire, en coordination avec les services de l'Etat, poursuit son action de régulation des usages en fonction de l'amélioration des connaissances des milieux naturels particulièrement sensibles de l'archipel et de leurs interrelations avec les différentes activités. La pression liée notamment aux activités de pêche et de plaisance en fait un site particulièrement observé.



## **Qui sommes-nous ?**

Finistère 360° « Tourisme Nautisme & Territoires » est l'agence de développement et d'attractivité touristique et nautique créée à l'initiative du Conseil départemental du Finistère.

Elle est issue du regroupement des établissements publics Finistère Tourisme et Nautisme en Finistère.

Elle inclut également la plate-forme de marque territoriale Tout commence en Finistère.

## **Pourquoi Finistère 360° ?**

Pour renforcer et accélérer l'attractivité du Finistère

Pour partager une réalité, la « maritimité » qui s'appuie sur des espaces, des hommes, une culture singulière, des pôles d'excellence, un art de vivre, des univers transversaux, des sites incontournables qui contribuent à notre différence.



<b>LE CONTEXTE</b>	<b>6</b>
<b>LES ANTIFOULING AUJOURD'HUI</b>	<b>14</b>
<b>LA RÉGLEMENTATION</b>	<b>15</b>
<b>COMMENT FONCTIONNE UNE PEINTURE ANTIFOULING ?</b>	<b>17</b>
<b>LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES</b>	<b>19</b>
<b>L'ÉTUDE</b>	<b>21</b>
<b>LES PRODUITS TESTÉS</b>	<b>23</b>
<b>LES TESTS</b>	
<b>ANALYSE DES PLAQUES IMMERGÉES</b>	<b>27</b>
<b>ANALYSE DES DISPOSITIFS SUR LES BATEAUX</b>	<b>39</b>
<b>DÉTERMINATION DES MOLÉCULES IMPACTANTES</b>	<b>44</b>
<b>TOXICITÉ DES PRODUITS</b>	<b>70</b>
<b>TYPE ET VOLUME DE DÉCHETS GÉNÉRÉS</b>	<b>78</b>
<b>SYNTHÈSE ET CONCLUSION</b>	<b>88</b>
<b>LA SUITE – LES NOUVEAUX PRODUITS</b>	<b>88</b>
<b>SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE</b>	<b>92</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>95</b>

Le programme « Éconaviguer dans une aire marine protégée » porté par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) (ex Agence des aires marines protégées) et le réseau EcoNav, a pour objectif de coordonner le développement de l'éconavigation dans le réseau des aires marines protégées, d'accompagner les projets territoriaux proposés par des membres du réseau et de pérenniser une stratégie d'action basée sur l'entraide et le retour d'expériences.

**L'éconavigation, dans le secteur de la plaisance se définit comme le terme générique regroupant l'ensemble des options écologiques pour la construction, l'utilisation, l'accueil et la fin de vie des bateaux.**

Dans un contexte de multiplication des pressions et des impacts environnementaux sur le littoral, liés aux différentes pratiques de navigation, le réseau des aires marines protégées qui se développe et se structure progressivement est le territoire d'expérimentation logique et idéal d'une « éconavigation ».

Ces espaces protégés sont des lieux privilégiés de mise en place d'actions de sensibilisation et de projets collaboratifs qui devraient permettre une évolution des consciences et des comportements chez les différents types d'acteurs navigants. L'implication des principaux concernés est gage de réussite des projets.

Dans le cadre de ce programme « Eco-naviguer dans une aire marine protégée », l'Agence a souhaité encourager le lancement de projets dès 2014 et a donc lancé un appel à projet pour initier la dynamique, suivi d'un appel à manifestation d'intérêt en 2015. Cet appel à manifestations d'intérêts a été ouvert au-delà des seuls gestionnaires d'aires marines protégées afin de pouvoir bénéficier des innovations et connaissances techniques d'autres types de porteurs (collectivités, entreprise privée...).

**Nautisme en Finistère** devenu **FINISTÈRE 360°** Tourisme, Nautisme et Territoires suite à la fusion des 2 agences départementales (Finistère Tourisme et Nautisme en Finistère) a saisi cette opportunité pour proposer une action au sein du Parc naturel marin d'Iroise (PNMI) concernant les nouveaux antifoulings pour les navires de plaisance. La qualité de l'eau est un enjeu majeur pour le PNMI. En effet, le patrimoine naturel mais aussi de nombreuses activités qu'elles soient professionnelles (comme la pêche) ou récréatives (la baignade, le surf...) dépendent d'une bonne qualité de l'eau. Les suivis du Parc marin mettent en évidence des secteurs sensibles à la pollution. Ces pollutions sont d'origine chimiques ou microbiologiques. L'origine des pollutions, chroniques ou accidentelles, est, elle aussi, variée : les activités humaines (aménagement portuaires, pêche, sports nautiques, tourisme, agriculture, stations d'épuration, etc.) ont un impact potentiel sur le milieu.

En effet après deux études réalisées, à partir de 2011, par le Parc naturel marin d'Iroise sur l'activité de carénage et sur l'efficacité des aires de carénage, les résultats ont montré que les biocides les plus fréquemment identifiés sont l'irgarol, le diuron et le Tributylétain (TBT). Ces biocides pourtant interdits ont été quantifiés à des valeurs supérieures (de 2 à 18 fois) au seuil d'écotoxicité, seuil présentant un risque pour le plancton ou les herbiers. Il existe donc un réel risque d'impact des peintures antifoulings sur le périmètre du Parc marin.

De plus, les résultats sur les systèmes de carénage ne donnaient pas complètement satisfaction avec des taux de traitement très variables, pouvant même être négatifs c'est à dire avec des relargages de polluants.

Ce constat a amené l'équipe du Parc marin à proposer des recommandations sur l'utilisation des aires de carénage (produit, entretien, protection etc.) et à rédiger un appel à projet en 2012 pour soutenir

financièrement les gestionnaires de port pour améliorer le système de traitement.

Ces actions ont permis d'améliorer certains systèmes de traitement mais en 2014, une nouvelle étude sur l'activité de carénage a montré que les sédiments portuaires restaient pollués au TBT et au Cuivre et que certains produits interdits étaient encore utilisés.

C'est pourquoi le Parc naturel marin d'Iroise et Finistère 360° ont souhaité s'engager dès 2014 dans une étude sur les nouveaux antifouling afin de promouvoir des techniques limitant l'impact sur le milieu marin et sur la santé des plaisanciers lors de l'application. Il apparaît donc nécessaire de procéder à ces études plus approfondies pour tester leurs impacts sur l'environnement et leur efficacité, mesurer le coût et l'acceptabilité des plaisanciers pour les utiliser.

Le maintien ou la reconquête de la qualité de l'eau, indispensable à la préservation de la biodiversité marine et à la production des ressources vivantes, est un enjeu local pour la mer d'Iroise, mais aussi national et international, cadré par des directives européennes.

Nous avons donc décidé de nous intéresser au fouling mais surtout aux dispositifs « antifouling » et leurs évolutions.

Aujourd'hui pour lutter contre le fouling, 99% des bateaux sont recouverts sur leurs œuvres vives (parties immergées de la coque) de peintures antifouling composées d'une peinture ou base chargée en biocides de différentes natures.

L'utilisation des peintures antifouling sur les bateaux de plaisance pose un certain nombre de questions quant à leurs impacts directs, sur le milieu marin et la santé des plaisanciers ou indirects problèmes de déchets et recyclage de produits toxiques. Or,

différentes techniques dites « alternatives » se développent. Afin d'avoir des données objectives sur ces produits, Finistère 360° a proposé au PNM Iroise et à l'AFB de tester leurs impacts sur le milieu (relargage de substances et tests en éco-toxicologie) et leur efficacité (contre le fouling) sur une vingtaine de bateaux dans le PNM Iroise. Ce travail a pour objectif à termes de guider et sensibiliser les usagers recherchant des solutions adaptées à leur navire et son usage. Ces tests en Iroise sont réalisés en lien avec des tests complémentaires réalisés sur l'archipel de Chausey et portés par la délégation Normandie du Conservatoire du Littoral et feront l'objet d'un rapport séparé.

#### **Le projet :**

- tester la pose, l'efficacité contre le fouling et l'impact éco-toxicologique potentiel de plusieurs nouveaux antifouling : peinture avec ou sans biocide, adhésif, ultra-sons, méthode mécanique (brosse, nettoyeur Haute Pression), bâche, en comparaison avec des peintures classiques.
- Constater la progression du fouling in situ sur des plaques immergées et sur les coques des navires via un suivi vidéo et photographiques,
- l'Université de Bretagne Sud et LABOCEA réalisent l'analyse de ces suivis et mènent également en laboratoire des tests écotoxicologiques, ainsi que des analyses physico-chimique.  
sur les déchets produits par chaque alternative testée,
- au travers de questionnaires, Finistère 360° cherchera également à disposer d'un retour des plaisanciers sur l'utilisation des dispositifs testés (satisfaction sur l'efficacité, praticité...).

Cette étude permettra d'engager la plaisance au-delà de la mer d'Iroise et de l'archipel de Chausey vers des pratiques plus respectueuses du milieu.

# LE CONTEXTE

Le projet présente des atouts d'importance pour une mise en œuvre efficace :

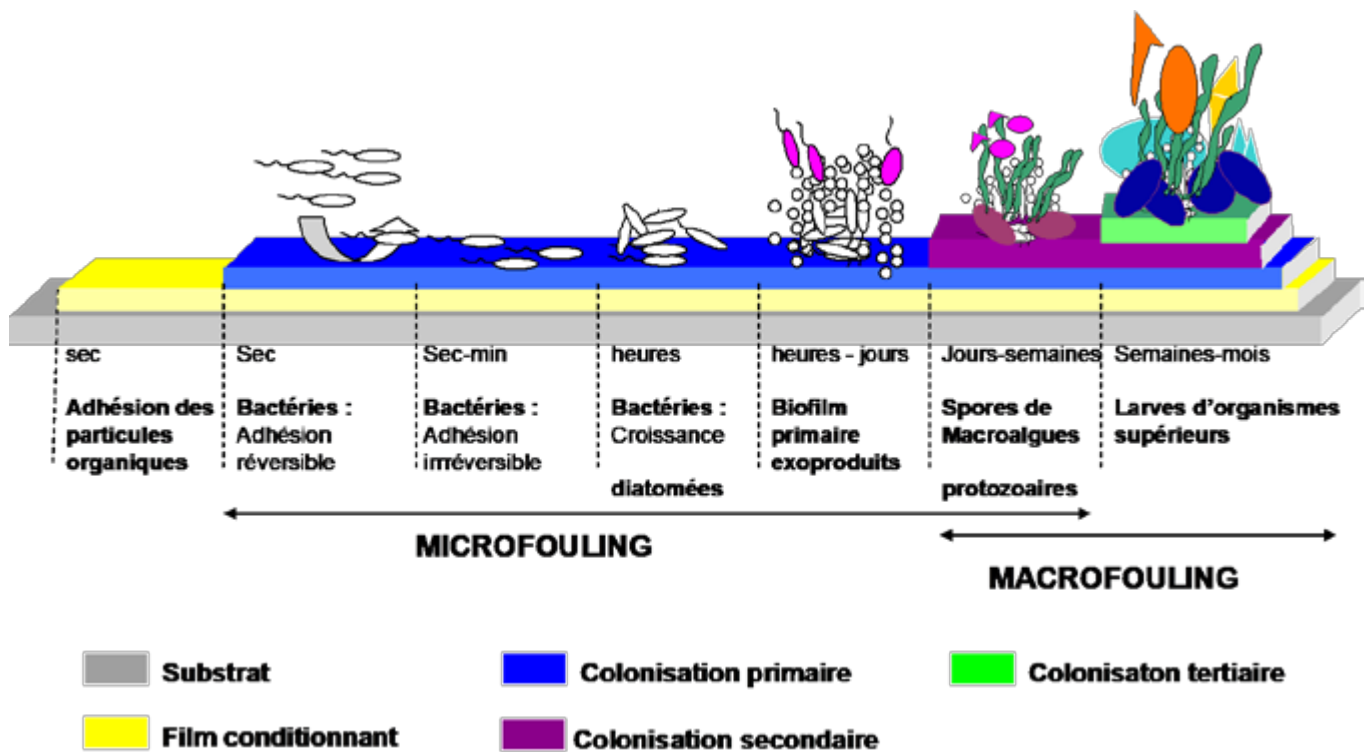
- Il bénéficie d'un accompagnement scientifique de l'Université de Bretagne Sud et de LABOCEA
- Les tests se déroulent en condition réelle et impliquent directement les plaisanciers pour la pose et l'utilisation en navigation des nouveaux antifoulings ;
- L'équipe des agents de terrain du PNMI contribue activement au suivi du fouling sur les plaques immergées et les coques (relevés vidéo et photographiques)

En s'impliquant dans cette étude **FINISTÈRE 360°** suit la feuille de route écrite au travers du Livre Bleu 2015-2020, document stratégique du nautisme Finistérien. Un des axes prioritaire de ce document concerne l'environnement et vise à positionner le Finistère comme un territoire d'expérimentation de solutions permettant de limiter le rejet d'effluents polluants dans les milieux naturels et les déchets toxiques issus de la pratique du carénage.



## QU'APPELLE-T-ON FOULING ET QUELLE EST SON ORIGINE ?

Le « fouling » est une salissure ou un encrassement d'origine organique conséquence d'une colonisation naturelle et progressive de la surface immergée d'un bateau par des végétaux et des animaux.



Fäy F, Linossier I, Dufau C., Bourgougnon N., Réhel K. « Peintures marines antifouling de nouvelle génération », 2008, Techniques de l'ingénieur, RE106LAB

## QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES

Les animaux et végétaux qui se fixent posent deux types de problèmes.

Le premier est mécanique : en modifiant le profil hydrodynamique de la coque, ils augmentent les frottements, donc l'énergie nécessaire pour faire avancer le bateau.

Le deuxième est plus insidieux, car ce sont les organismes eux-mêmes qui deviennent source de nuisance. En effet les différentes espèces transportées sur la coque peuvent coloniser facilement de nouveaux territoires. Et beaucoup se révèlent envahissantes, comme la très connue crépidule (*Crepidula fornicata*), mollusque gastéropode originaire de la côte Est des Etats Unis et apporté sur les côtes normandes par les bateaux du débarquement en juin 1944

Les effets du fouling sont donc réels et variés :

- » Introduction d'espèces invasives
- » Diminution de l'hydrodynamisme
- » Surconsommation de carburant
- » Diminution de la manœuvrabilité
- » Difficultés croissantes pour le nettoyage et l'entretien
- » Augmentation du poids du bateau
- » Esthétique douteuse

## QUE FAIRE ?

Depuis l'antiquité les marins ont essayé de protéger la coque de leurs bateaux pour limiter la prolifération de micro-organismes et organismes marins. Au début la coque était recouverte de plaques de cuivre ou de plomb, ensuite les marins ont recouvert leur carène d'un mélange de cire et de graisse. Puis, les peintures à base de métaux lourds, type cuivre, arsenic, cadmium ou encore mercure, ont vu le jour. Dans les années 60-70, elles ont été supplantées par les peintures à base d'organo-étains, c'est-à-dire contenant le tristement célèbre TBT (Tributylétain). Cette molécule a démontré son efficacité pour tuer les organismes accrochés sur les coques mais également pour provoquer des effets néfastes pour ceux présents dans le milieu marin (phénomène d'imposex notamment\*). Ces peintures ont finalement été interdites car trop toxiques pour le milieu marin.

\* L'imposex se produit quand - généralement à la suite de l'exposition à un perturbateur endocrinien - des caractéristiques mâles, comme le développement d'organes génitaux mâles (pénis et canal déférent par exemple), se développent chez un gastéropode femelle normal.

## QUE REPRÉSENTENT LES PEINTURES ANTIFOULING ?

Au niveau mondial, le marché des antifouling est estimé à plus de 100 000 tonnes dont 20 000 tonnes pour l'Europe, en augmentation de 2% par an. On estime que les navires de plaisance représentent à l'échelle européenne 3000 tonnes de peintures.

Pour le Finistère sur la base des 25 000 navires de plaisance, au mouillage (Les bateaux transportables sont exclus de ce chiffre car leurs carènes ne sont jamais revêtues d'antifouling), recensés dans le Finistère ce sont environ 75 tonnes de peinture qui sont vendues et utilisées tous les ans. (Estimation sur la base d'une utilisation de 3.kg de peinture /an /bateau).



# LES ANTIFOULINGS AUJOURD'HUI



## À PLUS DE 90% DES PEINTURES À BASE DE BIOCIDES

En plaisance l'usage des agents biocides représente environ 0.4% de la consommation nationale totale.

L'agriculture, le traitement des façades, des eaux, des voies routières et ferroviaires, le jardinage sont également des utilisateurs de biocides.

Depuis des années, la famille des peintures chimiquement actives à base de biocides représente plus de 90% du marché mondial des systèmes antifouling.

Le TBT a été le biocide le plus utilisé dans le monde, cependant, il a été interdit à partir des années 80. La France fut le premier pays à interdire les peintures à base de TBT sur les bateaux de moins de vingt-cinq mètres de long en 1982. La présence de ces peintures sur les coques de bateaux de toute taille a été interdite par l'Organisation Maritime Internationale en 2008.

Les biocides présents dans les revêtements actuels sont des composés organométalliques (cuivre ou zinc) et/ou des composés organiques (fongicides, algicides, bactéricides...) qui permettent de prévenir l'adhésion des organismes marins. Cependant, ces substances font l'objet d'une surveillance accrue concernant leurs effets sur l'environnement.

**Les peintures antifouling sont donc susceptibles d'entraîner une pollution aiguë et chronique du milieu.**

Les biocides sont encadrés par les règles européennes relatives à la protection des personnes et de l'environnement.

## LA RÉGLEMENTATION

Depuis 1998 et la mise en place de la directive Biocide, l'Europe a commencé à encadrer leur usage, en bannissant les substances les plus dangereuses (interdiction du tributylétain -TBT en 2003) puis en réglementant le carénage. La Directive s'est transformée en Règlement européen. Il a pour objectif de répertorier toutes les substances, contrôler leur utilisation, protéger le consommateur et limiter les effets sur l'environnement (Règlement européen UE 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012, dit «Règlement des produits biocides»). Dans ce règlement, les substances actives sont classées en fonction de leur type d'utilisation : hygiène humaine, produits de protection du bois, insecticides, taxidermie..... Les substances destinées aux antifoulings (type de produit 21) représentent une douzaine de molécules répertoriées, ayant subies des études éco-toxicologiques et d'impact environnemental, évaluant le rapport bénéfice/risque : comme pour les médicaments et les produits phytosanitaires,

(source ECHA <http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/biocidal-active-substances>).

Au 1<sup>er</sup> janvier 2018, l'application du règlement a provoqué la diminution du nombre de molécules autorisées dans les peintures. La liste des biocides autorisés par la communauté européenne est passée de 25 à 10, dans le but de limiter les impacts environnementaux.

# LES ANTIFOULING AUJOURD'HUI

À ce jour voici l'état des lieux des substances actives autorisées et en cours d'évaluation dans les peintures antifouling :

NOM DE LA SUBSTANCE	N° EC	N° CAS	PUBLI-CATION	AUTO RISATION	EXPIRA-TION	STATUT
Tralopyril		122454-29-9	(EU) No 1091/2014	01/04/2015	01/01/2025	Approuvé
«4,5 6 Dichloro - 2 - octylisothiazol - 3(2H) one (4,5-Dichloro - 2 - octyl-2Hiso-thiazol - 3 one (DCOIT))»	264-843-8	64359-81-5	Régulation (EU) 437/2014	01/01/2016	01/01/2026	Approuvé
Zineb	235-180-1	12122-67-7	Régulation (EU) 92/2014	01/01/2016	01/01/2026	Approuvé
Medetomidine		86347-14-0	(EU) 2015/1731	01/01/2016	01/01/2023	Approuvé
Dichloro-N- [(diméthylamino) sulphonyl] fluocro-N- (ptolyl)methanesulphenamide (Tolyfluanid)	211-986-9	731-27-1	(EU) 2015/419	01/07/2016	01/01/2026	Approuvé
Bis (1-hydroxy-1H-pyridine - 2-thionato-0,5° copper) Cuivre pyrithione).	238-984-1	14915-37-8	Régulation (EU) 2015/984	01/10/2016	01/01/2026	Approuvé
Cuivre	231-159-6	7440-50-8	Régulation (EU) 2016/1088	01/01/2018	01/01/2026	Approuvé
Thiocyanate de cuivre	214-183-1	1111-67-7	Régulation (EU) 2016/1090	01/01/2018	01/01/2026	Approuvé
Oxyde de bicuivre	215-270-7	1317-39-1	Régulation (EU) 2016/1089	01/01/2018	01/01/2026	Approuvé
N-(Dichlorofluorométhylthio)-N'-N»-diméthyl-N-phenylsulfamide (Dichlofluanid)	214-118-7	1085-98-9	Régulation (EU) 2017/796	01/11/2018	01/01/2026	Approuvé
Pyrithione zinc (Zinc pyrithione)	236-671-3	13463-41-7				A l'étude

- N° EC : Référence administrative

- N° CAS : Référence d'enregistrement permanent auprès des autorités

## COMMENT FONCTIONNE UNE PEINTURE ANTIFOULING ?

Le mécanisme de diffusion du biocide est dépendant de la matrice polymère qui l'accueille. On trouve trois catégories principales de matrice.

### LA MATRICE DURE

La matrice dure ne se solubilise pas dans l'eau de mer. Une fois immergée, les biocides sont dissous et libérés peu à peu par l'eau de mer. Le liant n'étant pas soluble, l'eau se répand à travers les pores laissés vides et dissout les particules toxiques suivantes. L'épaisseur de cette couche, dépourvue de biocides, augmente au fur et à mesure, ce qui lui donne une bonne résistance mécanique et une application possible en épaisseur.

Elle est utilisée en course au large et compétition mais plus rarement en plaisance. La matrice est constituée de polymères hydrolysables dans l'eau de mer. Le biocide est libéré lorsque l'eau de mer réagit avec la couche superficielle de la peinture (érosion chimique) ce qui permet de contrôler le taux d'extraction des particules solubles de ces peintures par l'eau.

### LA MATRICE ÉRODABLE

La matrice érodable ou matrice hydrophile s'érode au fil du temps, jusqu'à complètement se dissoudre de par l'hydrolyse permettant au biocide d'être libéré en continu et l'action mécanique due aux mouvements du bateau.

### UNE MATRICE AUTOPOLISSANTE

Ces trois catégories de peintures posent un problème à cause du relargage de biocide et de composés organiques volatils. Les composants des matrices érodables et autopolissantes se dégradent en molécules plus petites, solubles ou non dans l'eau de mer.

Bien que nocives ces peintures sont légalement vendues et utilisées. La seule restriction consiste à procéder au carénage des bateaux dans des installations prévues à cet effet.

L'utilisation des peintures antifouling a un impact sur l'environnement et sur le milieu marin. L'activité de carénage réalisée en site naturel, bien qu'interdite, participe également à cette pollution par voie de ruissellement ou par voie aérienne.



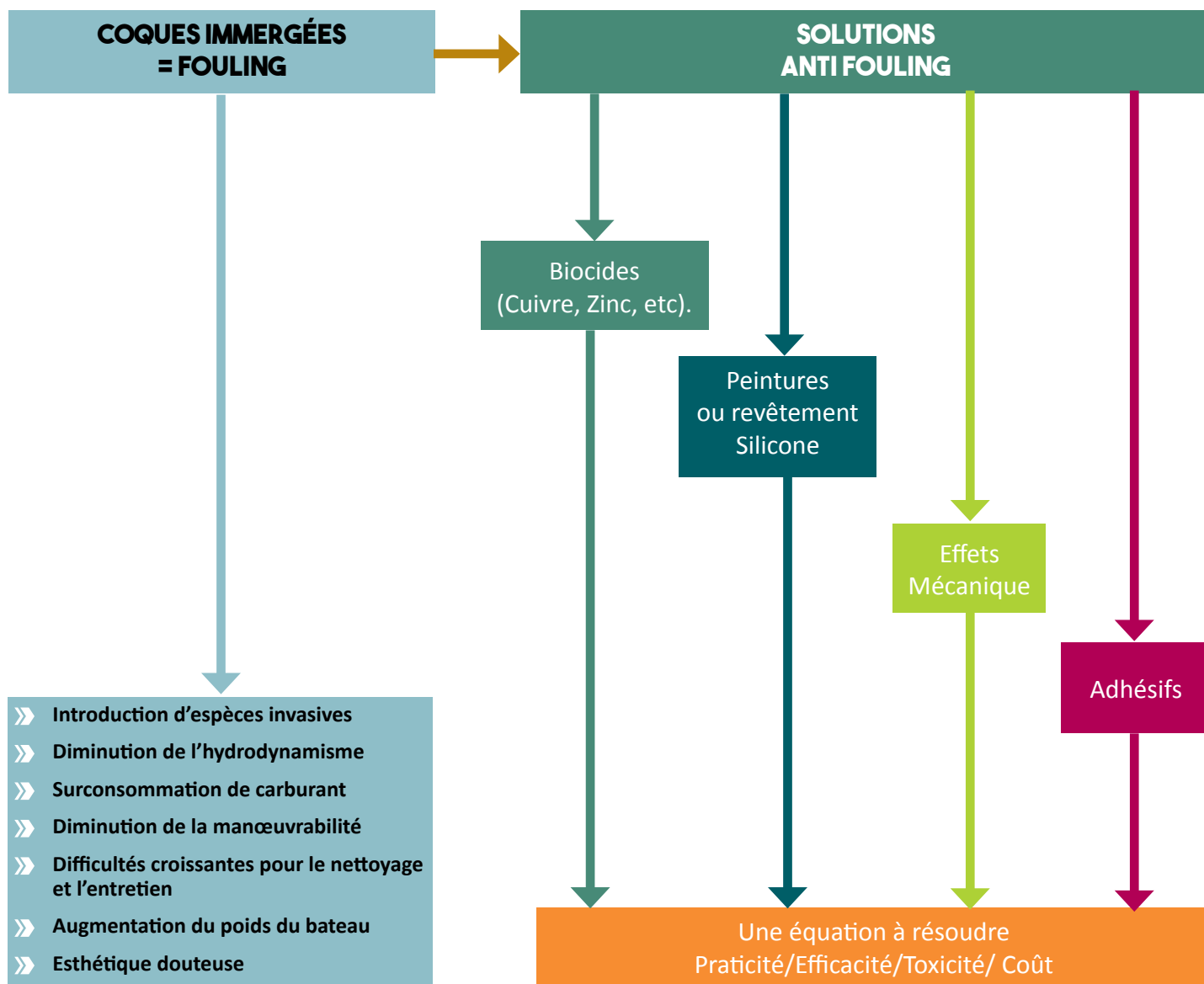


# LES ANTIFOULINGS ET LEURS ALTERNATIVES

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ON ASSISTE À UNE ÉVOLUTION ET UNE DIVERSITÉ DE PROCÉDÉ ANTIFOULING

Plusieurs techniques « alternatives » se sont développées depuis quelques années. Ces alternatives sont présentées par leurs initiateurs comme plus respectueuses de l'environnement et s'appuient sur des effets mécaniques, chimiques et biologiques.



## L'ÉTUDE

L'objet du travail présenté dans ce document est d'étudier ces nouveaux dispositifs selon un schéma rigoureux et s'inscrivant dans le temps.

Nous avons étudié les produits qui à l'instant T représentaient une réelle alternative et pour lesquels les industriels acceptaient notre protocole.

Nous nous sommes appuyés sur un groupe de plaisanciers volontaires et de professionnels du nautisme sans lesquels cette expérimentation n'aurait pu avoir lieu. Qu'ils en soient remerciés.

Un grand merci également aux Agents du PNMI qui ont assuré un suivi régulier de ces travaux, sur le terrain, pendant deux ans.

## POINTS FORTS ET CARACTÉRISTIQUES

➤ **Une expérimentation sur deux saisons de navigation et des localisations variées.**

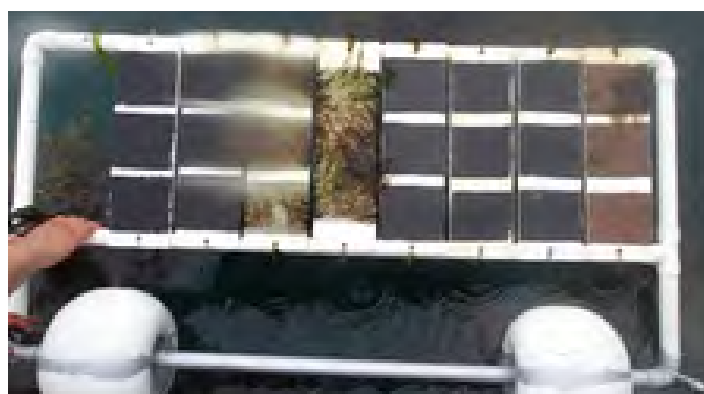
Il nous semblait indispensable de tester ces nouveaux produits sur un temps long correspondant au temps d'usage des plaisanciers et qui permettait d'avoir une évolution normale du fouling. Le fait d'avoir des localisations variées (Le Conquet, Morgat, Douarnenez et Lorient-Kernével) enrichit les observations et la connaissance des produits.

➤ **Au plus près des utilisateurs**

Nous souhaitons une étude en conditions réelles d'où la sollicitation de plaisanciers. Testeurs indispensables pour enregistrer leur ressenti, les difficultés ou non de mise en œuvre et toute appréciation.

➤ **Des tests de produits en immersion statique.**

Ces tests consistaient à recouvrir des plaques en PVC (toutes identiques) des revêtements et peintures testés et de suivre sur un pas de temps établi la progression du fouling. Ces plaques sont photographiées et les photos analysées en laboratoire.



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ➤ Des tests de produits en situation dynamique

Nous avons organisé un suivi régulier des bateaux de plaisance équipés avec cette fois des prises de vue sous-marines à pas de temps établi et sur des parties identifiées des navires. Ces prises de vue ont par la suite été analysées et expertisées en laboratoire.

## ➤ Un suivi scientifique assuré par deux laboratoires spécialisés

Nous avons été accompagnés par deux laboratoires reconnus pour la qualité de leurs travaux dans les champs d'étude qui nous intéressaient.

Ce sont :

**Le Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines** de l'Université de Bretagne Sud à Lorient, membre du réseau national des Universités Marines, partenaire de l'Institut Universitaire Européen de la Mer et spécialiste mondial du biofilm marin.

**Le Laboratoire LABOCEA** présent en Bretagne depuis plus d'un siècle et bien connu du monde de la plaisance pour ses travaux sur le carénage et sa forte expertise scientifique sur l'analyse de l'eau, des sédiments et de manière plus globale la surveillance de l'environnement.

## ➤ Un partenariat élargi

En croisant les expertises de l'ensemble des partenaires nous rendons crédible cette étude qui a vocation à améliorer et compléter la connaissance et être au bénéfice de tous.

Les éléments apportés motiveront les industriels à être encore plus innovants, les plaisanciers à être plus vigilants pour leur santé et celle de l'environnement pour que chacun puisse continuer à naviguer, découvrir et profiter des merveilles du monde de la mer.

## LES PRODUITS TESTÉS

La présentation de ces produits est issue des documents commerciaux des fabricants

### PEINTURE

#### NAUTIX R & D

«Nautix met au point une nouvelle peinture depuis 5 ans qui n'est pas encore commercialisée. Cette peinture a la particularité d'avoir des polymères biodégradables».

<https://peinture.nautix.fr/>



#### LE SEA WAX

«Son principe de fonctionnement consiste à défavoriser l'accroche des organismes marins. Les différents composants de sa formule empêchent et retardent et/ou rendent très instable, la fixation des micro-organismes tels que les algues et les coquillages».

<http://www.seawax-ecommerce.com/>

*Cette entreprise a cessé son activité.*



#### PEINTURE AU CUIVRE (M300)

«Le M300 Antifouling est composé d'une très grande majorité de cuivre pur à 99%. Le cuivre est reconnu comme étant un puissant agent biocide. Il est associé à une résine polyester hybride spécifique qui assure la tenue du métal sur la carène et la liaison des particules métalliques entre-elles».

<http://m300antifouling.fr/>





# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## PEINTURE

### BORÉO ALTURA 619

Antifouling long life d'efficacité maximum, exempt de poisons organostaniques, à haute teneur en sels de cuivre. Grace à sa formulation particulière, il protège les coques en bois, acier et polyester pour une très longue durée, en respectant l'équilibre biologique de la mer.

<http://www.boeroyachtcoatings.com/fr/gamme/antifouling/altura-619/>



### INTERNATIONAL ULTRA EU

Ultra EU (anciennement nommé Interspeed Ultra) est un antifouling à matrice dure et ultra résistant. Idéal pour zones à très fortes salissures. Cet antifouling est particulièrement adapté aux bateaux très rapides aux zones à forts courants ou à échouage.

Technologie Biolux pour une efficacité anti-salissures renforcée.

<https://international.discount/antifouling/115136-antifouling-u>



## SOLUTIONS MÉCANIQUES

### LE PAREFOULING

Le Parefouling met tout simplement une barrière entre les organismes marins et la coque.

<https://nauticinnovention.wordpress.com>



### LA BROSSSE LULU

La Brosse Lulu utilise 3 principes pour un fonctionnement optimum.

1) Pour accéder aux œuvres vives quand le bateau est à flot, la solution choisie est une perche galbée, longue mais démontable. Le galbe et la longueur totale de la perche sont modulables pour s'adapter à toutes les formes de carènes.

2) Pour nettoyer correctement la carène la classique brosse a été retenue pour son efficacité et sa polyvalence.

3) Pour bien brosser il faut appuyer fort ! la brosse utilise la Poussée d'Archimède pour appliquer elle-même la pression nécessaire au brossage.

<http://labrosselulu.fr/>



### NETTOYAGE HAUTE PRESSION

À renfort d'huile de coude ou aidé par un nettoyeur haute pression cette technique reste la plus fiable et la plus « écolo ».

Certains ports mettent à disposition des nettoyeurs à eau de mer à condition que la carène et les appendices ne soient pas traités par une peinture.

### ULTRASON

La machine à ultrason détruit les algues et évite la prolifération des organismes, les empêchant ainsi de se fixer sur la coque.

<http://www.ultrasonic-antifouling.com/>



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## PEINTURE + SILICONE

### HEMPEL AU SILICONE

SilicOne est un revêtement sans biocide qui minimise l'accroche des organismes marins.

<http://www.hempel.fr/fr-FR/products/silicone-77450>



### DDC – NÉOSIL

Cette peinture a été utilisée mais le manque de données ne nous permet pas de fournir des éléments scientifiques d'appréciation.



## ADHÉSIF

### L'ADHÉSIF UNIFLOW

Film autoadhésif polymère 3 couches avec performances de glisse tout en apportant une fonction antifouling.

<http://www.uniflow-marine.com/>



### ADHÉSIF ANTI-GRAFFITIS

Film protecteur anti-corrosion et anti-pollution

Dispositif testé pendant 1 an

<http://www.gsdi.fr/>



### MACGLIDE

MacGlide est une alternative innovante et non polluante face aux peintures antifouling bio-toxiques traditionnelles.

Grâce à ses propriétés anti-adhérentes, MacGlide protège la carène de la colonisation de micro-organismes marins sans diffuser de substances toxiques dans l'océan.

MacGlide préserve ainsi la vie marine et indirectement la santé humaine.

<https://www.macglide.eu/>



## LES TESTS

# ANALYSE DES PLAQUES IMMERGÉES

Ce test a pour but d'étudier l'efficacité de huit revêtements antifouling à travers un suivi photographique des échantillons immergés sur différents sites maritimes



Carte des sites d'immersion des supports de test.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## I. PRÉSENTATION DES ÉCHANTILLONS

Au cours de cette étude différentes peintures ont été testées parmi lesquelles on retrouve deux types de revêtements.

D'une part les peintures antifouling de type « biocides release » (Nautix, International, Boero, Meto & Co) qui ont pour but de libérer un agent biocide afin de ralentir/limiter l'apparition du micro/macrofouling.

D'autre part les « fouling release coating » (Hempel SilicOne, SeaWax, adhésif Uniflow) ayant des propriétés physico-chimiques de surface spécifiques afin de limiter l'adhésion du biofouling.

La seconde partie de l'étude (2017-18) a vu le retrait de la peinture SeaWax au profit d'un second adhésif de type fouling release (MacGlide).

## II. DESCRIPTION DES TESTS RÉALISÉS

L'observation du macrofouling s'effectue au travers de photographies des échantillons réalisées à intervalles de temps réguliers. Ces photographies permettent de déterminer l'indice d'efficacité N du revêtement. Cet indice N correspond au produit de deux facteurs intermédiaires : le facteur d'intensité I et le facteur de gravité G.



### CALCUL DE L'INDICE N



#### Protocole d'évaluation de l'efficacité des peintures : Calcul du facteur d'efficacité N

Les laboratoires LBCM\* MAPIEM\* et l'IFREMER\* ont créé en 2011 un protocole d'évaluation des peintures adapté de la norme NF T 34-552 (datant de septembre 1996). Cette norme permet « d'évaluer l'efficacité des peintures antisalissure actives par relargage c'est-à-dire leur aptitude à résister à l'adhésion des salissures marines ». Il y est décrit les types de salissures marines, les descriptions d'éprouvettes test, les stations d'essai et enfin l'inspection des éprouvettes. Pour l'expression des résultats, un facteur d'efficacité N est calculé. Ce facteur est valable indépendamment du site d'immersion, de l'expérimentateur ou du type de revêtement. Ainsi, la subjectivité de l'appréciation est grandement diminuée.

Le facteur N est calculé en fonction du pourcentage de recouvrement et du type de salissure qui colonise la surface. Un facteur d'intensité I (Tableau 1) est déterminé en fonction de la surface colonisée et un facteur de gravité G est associé à la nature des organismes adhérents (Tableau 2).

\* LBCM - LABORATOIRE BIOTECHNOLOGIE ET CHIMIE MARINES - LORIENT

\* MAPIEM - MATERIAUX POLYMERES INTERFACE ENVIRONNEMENT MARIN - TOULON

\* IFREMER - INSTITUT FRANCAIS RECHERCHE EXPLOITATION DE LA MER - BREST

**TABLEAU 1 : CALCUL DU FACTEUR D'INTENSITÉ**

Pourcentage de recouvrement	Facteur d'Intensité I
Aucune salissure	0
0 < % ≤ 10	1
10 < % ≤ 20	2
20 < % ≤ 40	3
40 < % ≤ 60	4
60 < % ≤ 100	5

**TABLEAU 2 : CALCUL DU FACTEUR DE GRAVITÉ**

Type de salissure	Facteur de Gravité G
Biofilm	1
Microalgues	2
Algues (thalle filamenteux)	4
Algues (thalle lame plat)	6
Espèces non encroûtantes	6
Espèces encroûtantes	8

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

En fonction du facteur d'intensité I et du facteur de gravité G, N est déduit de l'équation ci-dessous :

$$N = \sum I \cdot G$$

Plus le facteur N est faible et plus la peinture est efficace. La limite d'efficacité acceptable est fixée arbitrairement à 13. Les contrôles sont effectués jusqu'à colonisation presque complète des peintures tests.

Afin d'appliquer ce protocole dans les meilleures conditions, il faut reconnaître les différentes espèces en présence. Les algues (facteur de gravité 3) réunissent trois espèces : les algues vertes, rouges et brunes (Figure 1).



Figure 1 : Photographie d'algue de différentes espèces (Ectocarpus, Chondrus, Himanthalia, Enteromorpha, Corallina et Porphyra en épiphyte sur Fucus vesiculosus)

Les types d'espèces non encroûtantes (G = 4, Figure 2) comprennent les tuniciers, les ascidies coloniales, les ascidies solitaires, les hydraires, les éponges solitaires et les bryozoaires chevelus. Les espèces animales

encroûtantes (G = 6, Figure 3) regroupent les balanes, les bryozoaires encroûtants, les spirobes, les tubes de ver, les algues calcaires, les coquillages et les éponges encroûtantes.

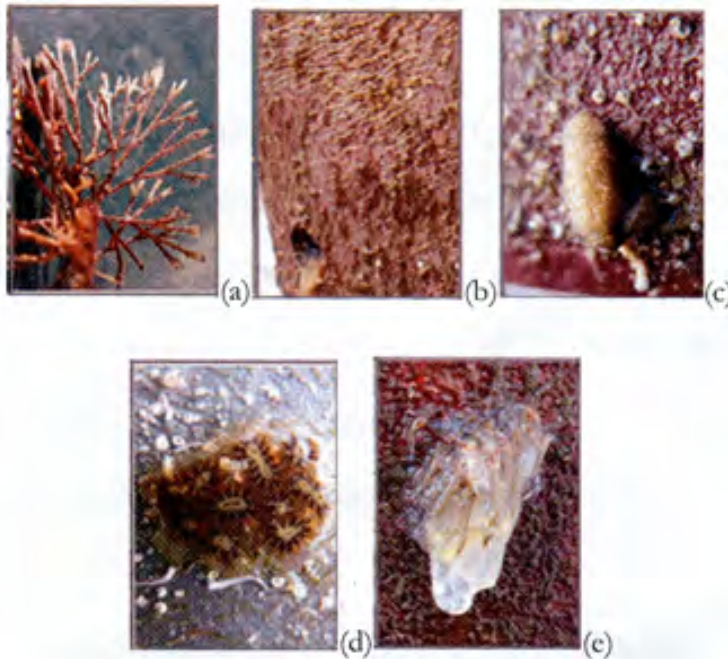


Figure 2 : Types d'espèces non encroûtantes : Bryozoaires (a), Hydraires (b), Éponges (c), Ascidies (d) et Tuniciers (e)

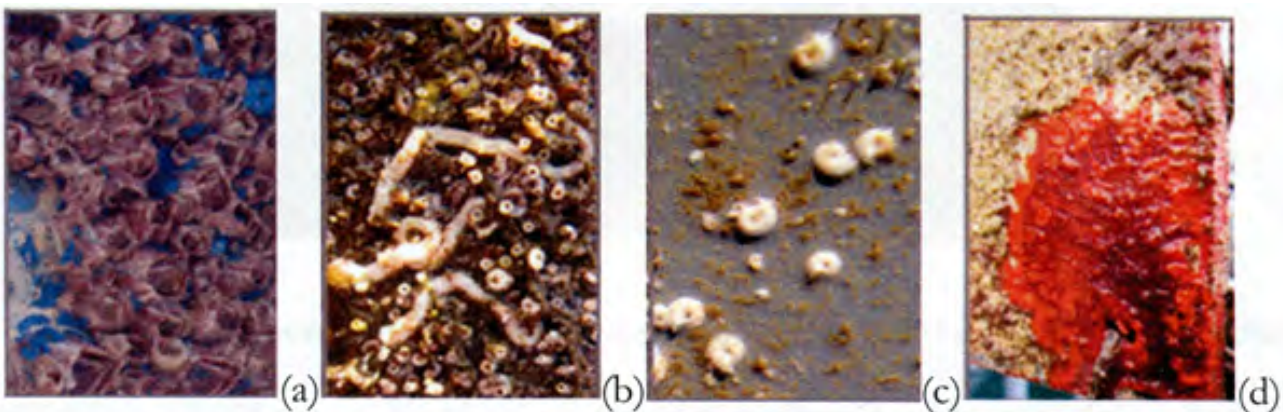


Figure 3 : Type d'espèces encroûtantes : Balanes (a), Tubes de ver (b), Éponges (c) et Bryozoaires encroûtants (d)

**Ces différentes photographies sont les modèles d'espèces qui permettront d'évaluer le facteur de gravité G et ainsi de calculer le facteur N au cours de l'immersion.**

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## III. RÉSULTATS

### Observation du macrofouling et détermination de l'indice d'efficacité N

Les figures suivantes montrent l'évolution du biofouling sur deux saisons d'immersion sur trois sites d'immersion : Le Conquet, Douarnenez situés dans le territoire du Parc naturel marin d'Iroise (PNMI), le port du Kernevel à Lorient. Lors de la seconde saison d'immersion (avril-mai 2017) un quatrième site est venu s'ajouter aux précédents : le site de Morgat également situé dans le territoire du PNMI et pour lequel une seule saison d'immersion sera observée.

Ces observations permettent de définir le facteur d'efficacité N tout au long de l'expérimentation.

Les observations réalisées sur l'ensemble des six sites montrent une tendance similaire quant au comportement des différents revêtements.

Les revêtements de type « fouling release » (Hempel SilicOne, Uniflow et MacGlide) apparaissent plus efficaces face au fouling tandis que la peinture SeaWax à base de cire semble ne pas avoir de réelle efficacité car la colonisation observée est similaire à celle de la référence négative (polycarbonate – sans biocides). Ceci a conduit, au début de la seconde campagne d'immersion, à retirer l'échantillon Seawax de la liste des revêtements testés au profit d'un revêtement de type adhésif-fouling release.

Parmi les revêtements antifouling (hydrolysables et non hydrolysables), on note un comportement similaire des peintures proposées par International et Boero, avec une faible colonisation de la surface, tandis que la peinture expérimentale proposée par Nautix voit sa surface colonisée de manière plus significative. On note cependant une diminution de cette colonisation après 60 jours. La peinture M300 (Meto&Co) quant à elle présente une efficacité qui varie de moyenne à faible selon les sites d'immersion. On observe une colonisation de la surface moins importante pour les sites de Kernevel, Douarnenez, Le Conquet.

Les observations menées sur la deuxième année d'immersion des supports suivent les mêmes conclusions que la première année. Les revêtements à base de silicone sont en effet plus efficaces contre la colonisation (N compris entre 1 et 5) tandis que les peintures contenant des biocides (N compris entre 10 et 20) voient leur surface principalement colonisée par un tapis de microalgue. En comparaison, la référence négative (plaque de polycarbonate recouverte d'un primaire) présente dès 15 jours d'immersion un tapis de microalgue. Après 1 mois apparaissent les algues sous forme de filament puis de thalle plat avant de voir apparaître des organismes plus complexes (ascidies, moules...) avec un indice d'efficacité N dépassant dans certains cas 40. En fin de première année d'immersion, la période hivernale puis le rinçage induisent une nette baisse du fouling. Cette diminution de la colonisation est cependant de très courte durée car il faut de nouveau moins d'un mois avant d'observer de nouveau les algues et autres organismes non encroûtant.

L'ensemble des figures présentées ci-après sont construites pareillement. De haut en bas sur chaque ligne nous retrouvons Hempel, Uniflow, Seawax (puis MacGlide après 12 mois), Référence polycarbonate, International, Nautix, Boero et M300. Et de gauche à droite le temps d'immersion. Sur chaque figure, après la première année d'immersion l'échantillon Seawax (3ème ligne) est remplacé par un adhésif MacGlide (en

rouge).

Une frise de photos est présentée pour chacun des 4 sites d'immersion : Kernevel, Douarnenez, Morgat, Le Conquet.. Le site de Morgat s'est quant à lui joint à l'expérimentation au début de la deuxième année de l'étude. Cette différence ne permet donc pas une comparaison complète avec les autres sites d'immersion.

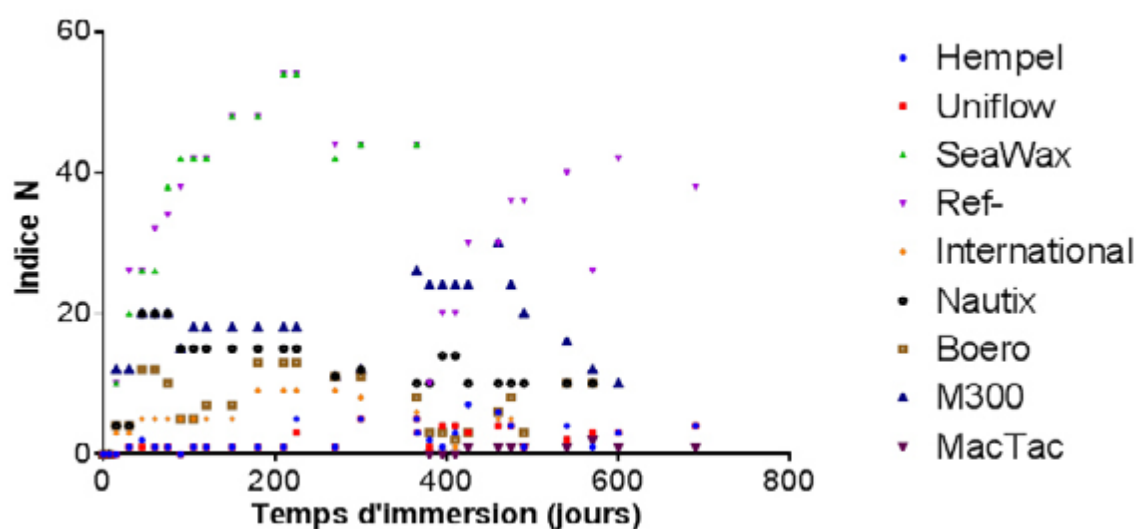
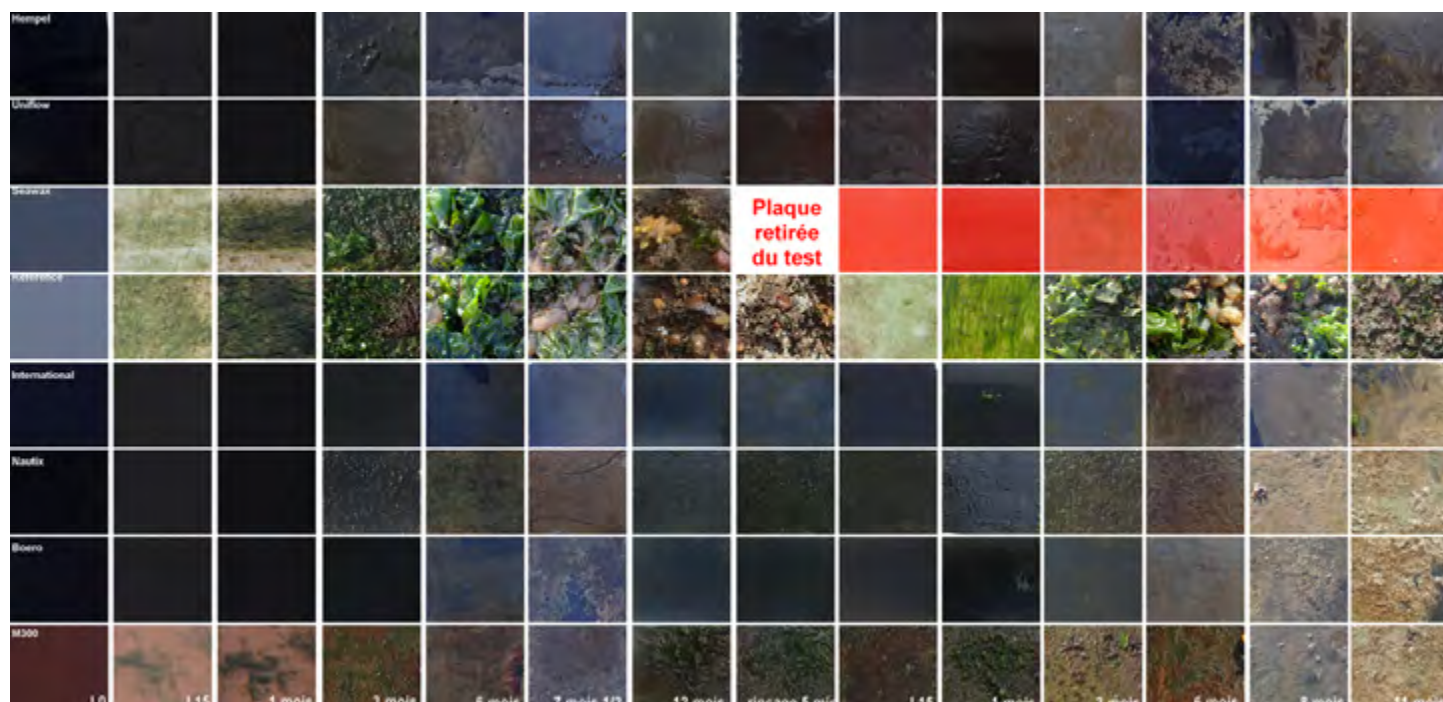
Pour chaque frise chronologique de suivi photographique est associé un graphique présentant l'indice d'efficacité N (axe des ordonnées) pour chaque solution antifouling en fonction du temps d'immersion en jours (axe des abscisses).



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

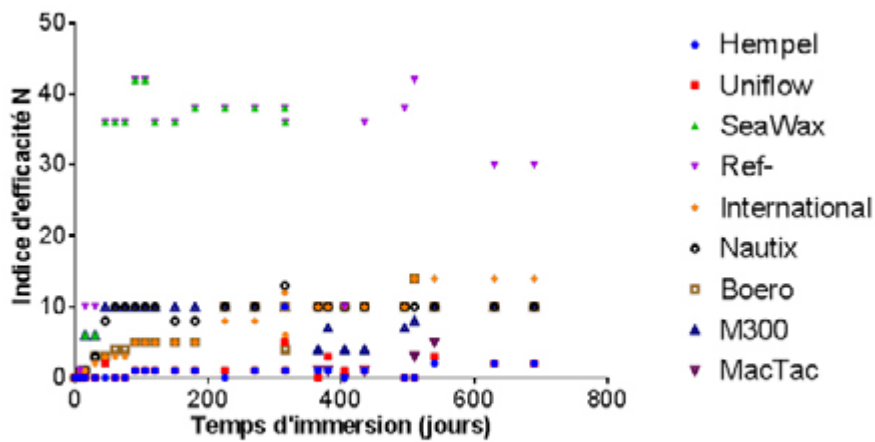
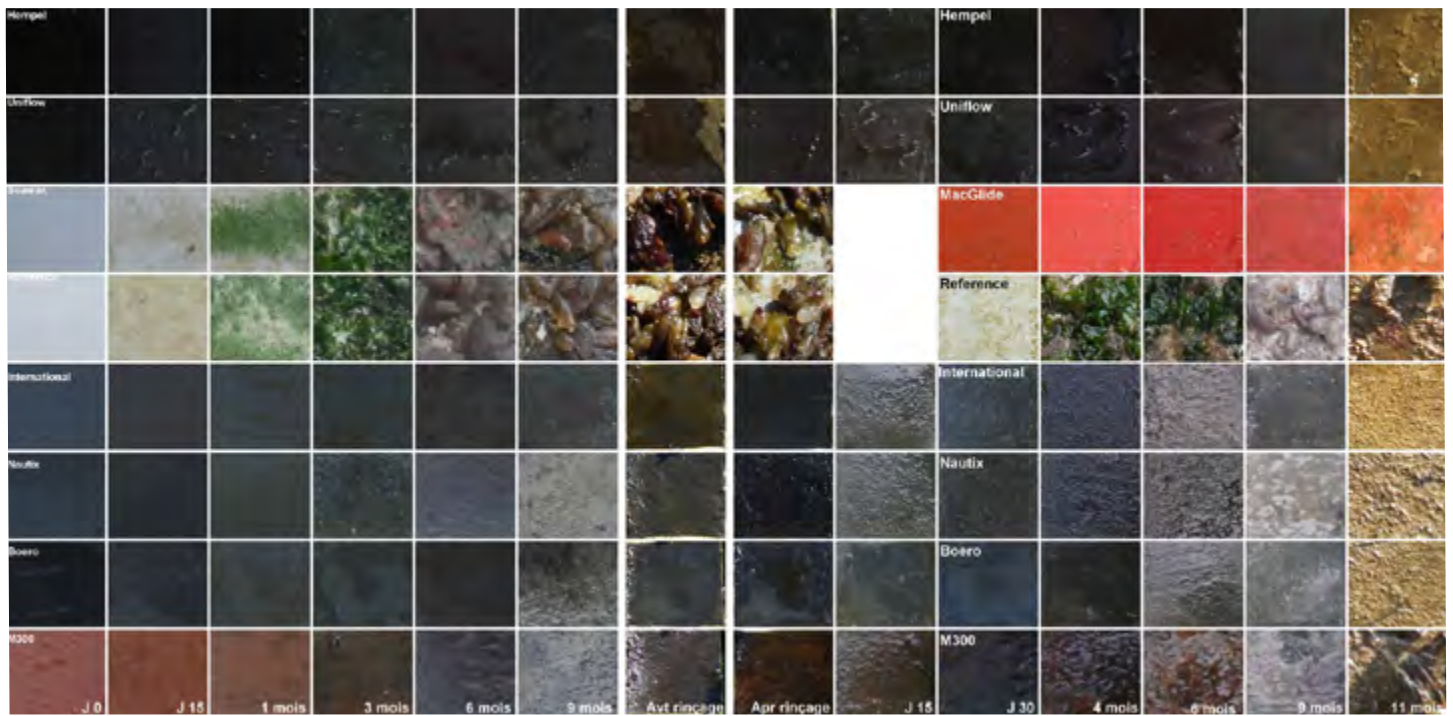
## KERNÉVEL

Observations photographiques sur deux saisons d'immersion des supports au port et détermination de l'indice d'efficacité N



## DOUARNENEZ

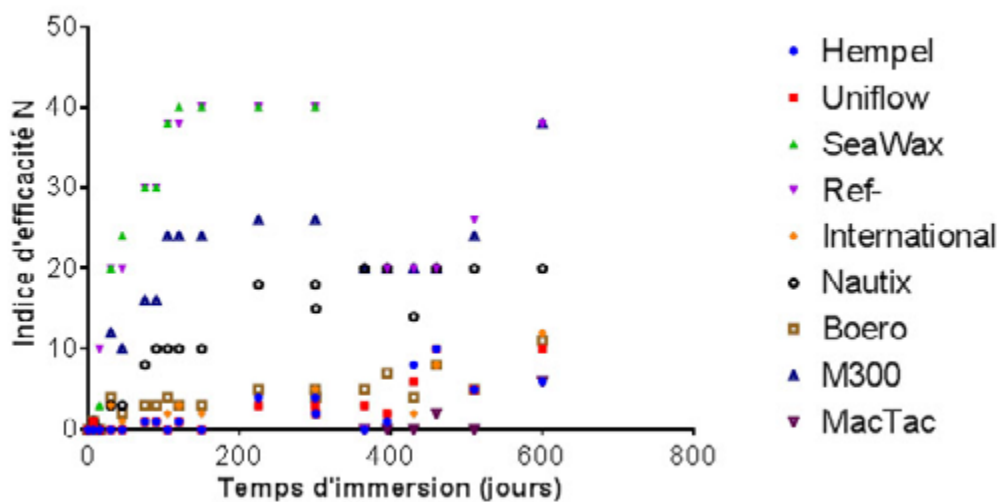
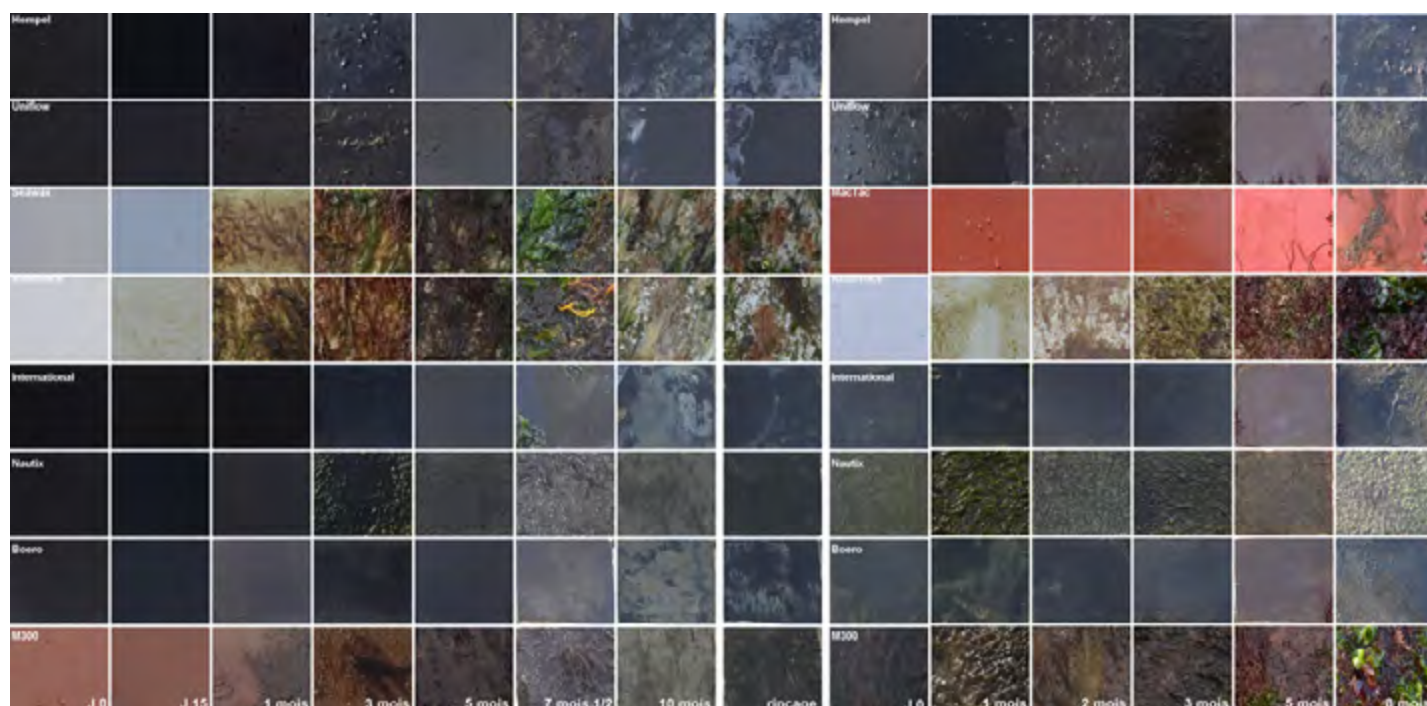
Observations photographiques sur deux saisons d'immersion des supports au port et détermination de l'indice d'efficacité N



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## LE CONQUET

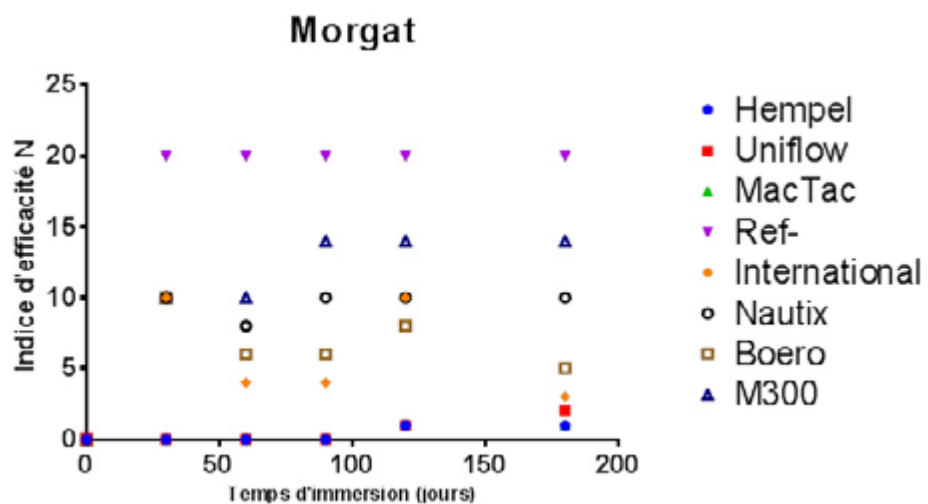
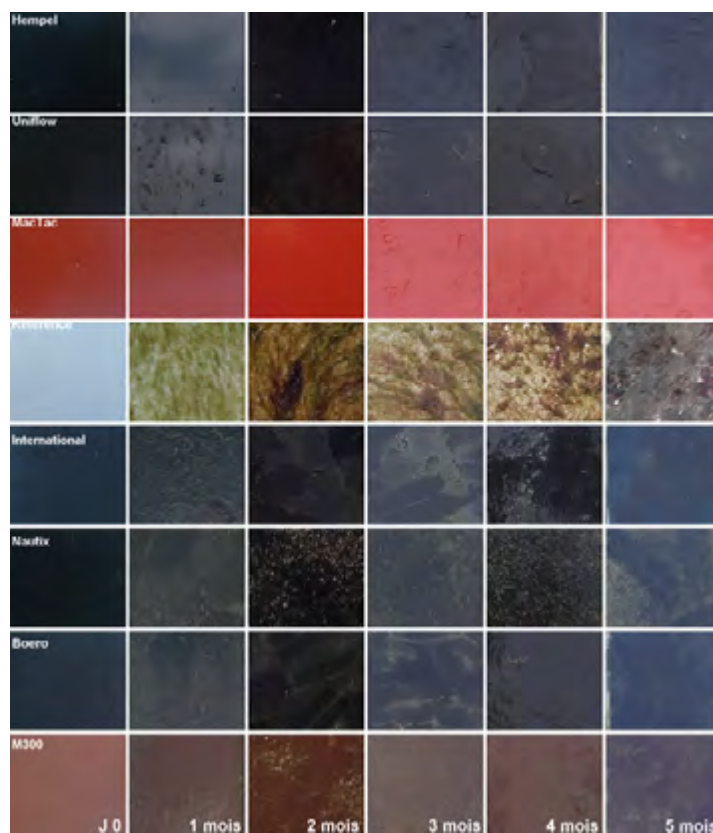
Observations photographiques sur deux saisons d'immersion des supports au port et détermination de l'indice d'efficacité N





# MORGAT

Observations photographiques sur une saison d'immersion des supports au port et détermination de l'indice d'efficacité N



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## CONCLUSION INDICE N

Les observations menées sur la première campagne d'immersion (2016-2017) et la seconde campagne (2017-2018) montrent des différences d'efficacité entre les revêtements. On distingue d'une part les revêtements de type fouling release (UniFlow, MacGlide et SilicOne d'Hempel) qui présente la meilleure efficacité contre le fouling avec un indice N compris entre 1 et 3 sur l'ensemble des sites. Ces revêtements de type silicone présentent des propriétés de surface qui limitent la possibilité pour les micro et macroorganismes d'adhérer. L'adhésif MacGlide (revêtement de type silicone) est venu en remplacement pour la deuxième année d'immersion, il est donc difficile d'établir une comparaison avec les autres revêtements silicones bien qu'il soit le moins efficace des trois solutions antifouling de type silicone (différences cependant très faibles).

D'autre part, les peintures antifouling basées sur la libération de biocides (International, Boero, Nautix, M300) présentent une efficacité intermédiaire qui varie selon les sites. Les peintures International et Boero semblent toutefois plus efficaces à l'issue de la première année d'immersion avec un indice N proche de 10. On note toutefois le développement de microalgues à leur surface. À l'issue des deux années d'immersion, la peinture expérimentale proposée par Nautix apparaît plus efficace que la matrice M300.

Enfin, la peinture Seawax a été retirée du projet à l'issue de la première année car elle présentait une colonisation similaire à celle de la référence négative (plaque PVC recouverte d'un primaire). Aucune analyses toxicologiques et physico-chimiques n'ont été menées sur cette peinture.

## LES TESTS

# ANALYSE DES DISPOSITIFS SUR LES BATEAUX

Le but de cette étude scientifique est de vérifier l'efficacité de différentes techniques alternatives aux peintures antifouling classiques sur des navires de plaisance. Le choix des techniques a été réalisé par Finistère 360° et au final, les techniques suivies sont :

- Le lavage des coques,
- Les ultrasons,
- La peinture Nautix développée par le service R&D
- La peinture au cuivre M300
- La peinture Hempel au silicone,
- Les adhésifs uniflow au silicone,
- Les adhésifs GSDI au silicone développés par le service R&D
- Le parefouling Nautic Innovation.

Afin de suivre l'efficacité de toutes ces techniques de façon identique, un protocole de suivi a été mis en place. Il se base sur l'interprétation de vidéos sous marines réalisées à intervalle régulier. Cela permet de se rapprocher des suivis réalisés sur les plaques immergées. Ces suivis sont complémentaires car le suivi sur les bateaux tests permet d'avoir une vision de l'efficacité en condition réelle de navigation, tandis que le suivi des plaques s'affranchi de cette variable qui est fonction de chaque plaisancier.

Certains produits ayant des durées de vie longues (de 3 à 5 ans), le suivi a été réalisé sur deux saisons de navigation en 2016 et 2017. Les personnes réalisant les films vidéos ont été formées sur place afin d'avoir un suivi homogène et d'avoir des films exploitables.

Pour chaque technique il avait été décidé d'avoir trois à quatre bateaux en test. Dans la réalité, suivant la technique de 1 à 4 bateaux ont participé aux tests.

Pour les bateaux dans le périmètre du Parc naturel marin d'Iroise, les prises de vue ont été réalisées par les agents du Parc.

Le protocole était de réaliser des vidéos sous marines de la totalité de la carène une fois par mois d'avril à octobre environ sur deux saisons de navigation. Cela permet d'avoir une idée de la vitesse de colonisation, du type de fouling (organismes marins, algues et invertébrés...) et sa quantité. Le but étant de déterminer si la technique est a minima aussi efficace qu'une peinture antifouling classique. Tout en sachant que le temps de colonisation de la coque par les salissures est très dépendant du milieu : température, ensoleillement, courant, qualité de l'eau..., mais également des activités pratiquées par le plaisancier.

Une fois les vidéos réalisées, LABOCEA a visionné les films afin d'en ressortir des clichés permettant de déterminer l'état de la colonisation de la coque par le fouling. Des notes ont été prises lors de chaque visionnage, en complément des photos, afin d'évaluer l'efficacité de la technique testée. L'ensemble de la carène a été évaluée. Un bilan récapitulatif a été réalisé pour chaque bateau étudié sur la totalité du suivi.

En complément des informations avaient été demandées aux plaisanciers afin de connaître le type et le nombre de sorties réalisées durant le suivi ainsi que les éventuelles manutentions, y compris un nettoyage de la coque. Le rendu des plaisanciers est variable et il manque parfois des informations importantes.

La photointerprétation a été réalisée pour chaque bateau individuellement et ensuite comparée entre les bateaux utilisant la même technique afin de déterminer son efficacité globale. Une fiche de synthèse a été réalisée par technique reprenant les avantages, les inconvénients mais également les limites. Ces résultats sont regroupés en annexe.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## PROTOCOLE DÉTAILLÉ

Un questionnaire est à remplir par les plaisanciers lorsqu'ils appliquent leur peinture cf annexe 1 page 139.

Les prises de vue régulières doivent permettre de suivre l'évolution de la colonisation de la carène par les organismes marins, algues et invertébrés.

Cf annexe 2 page 140

Dans l'idéal, un état initial doit être réalisé afin d'avoir une base de comparaison. Pour ce faire **des photos de la carène doivent être réalisées à sec après l'application de la peinture ou de l'adhésif. Pour le parefouling ou les coques sans biocides, prendre des photos avant la mise à l'eau du bateau.**

Si le bateau est déjà mis à l'eau, **des prises de vue sont à réaliser le plus tôt possible** afin d'avoir un élément de comparaison et pouvoir estimer correctement la vitesse de colonisation par le fouling.

Le suivi sera réalisé une fois par mois à intervalle régulier si possible.

## SUIVI D'UN BATEAU SUR PONTON OU CORPS-MORT :

Vérifier la date et l'heure sur l'appareil photo.

Ne pas frotter la coque avant la prise de vue.

Si possible (suffisamment de recul), prendre une photo générale du bateau des 2 côtés, zoom sur la ligne de flottaison si besoin.

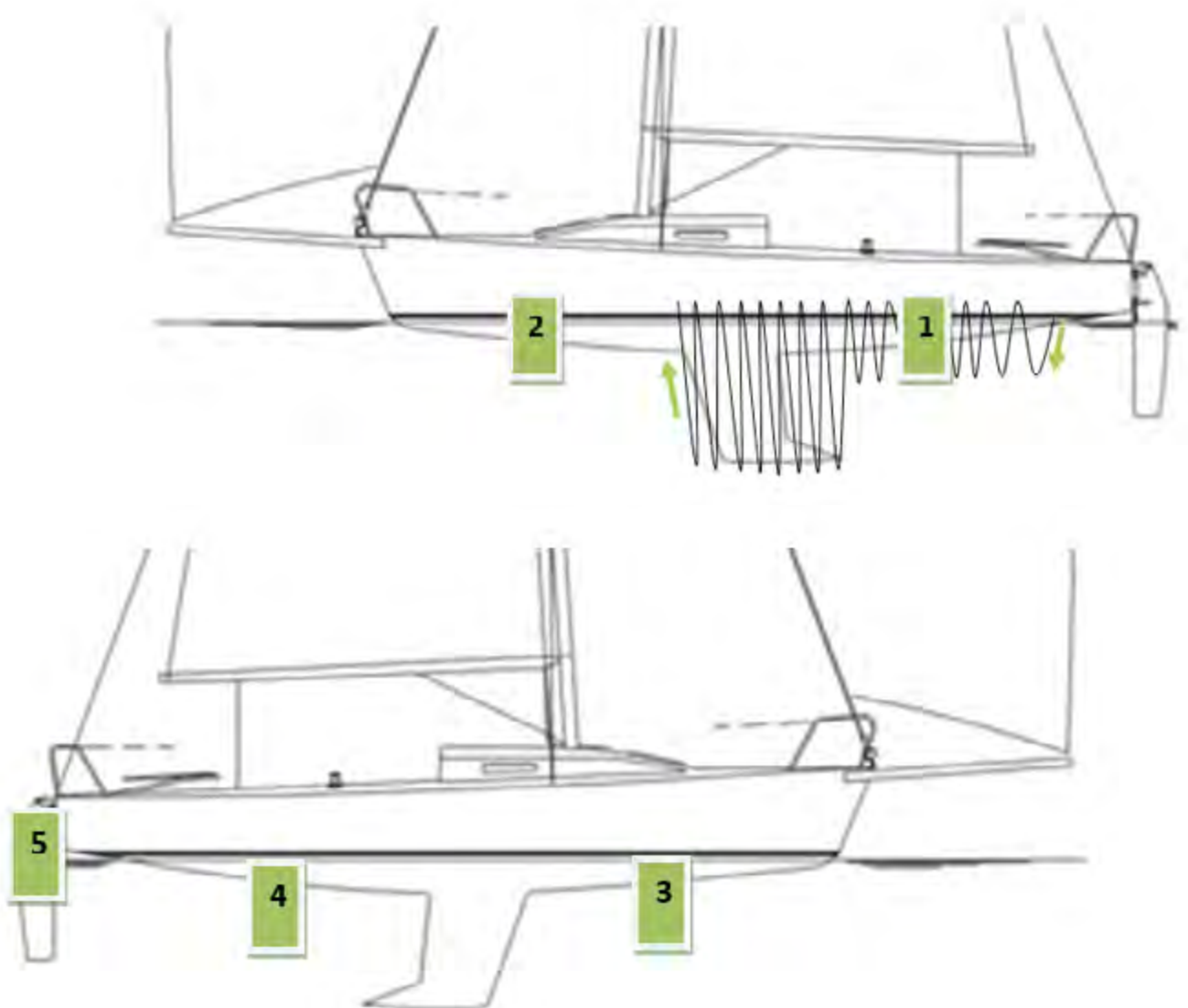
Prendre au minimum **5 vidéos** de la carène :

- 1. une vidéo pour la moitié arrière bâbord,
- 2. une vidéo pour la partie avant bâbord,
- 3. une vidéo pour la partie avant tribord,
- 4. une vidéo pour la moitié arrière tribord,
- 5. une vidéo pour la partie arrière + safran.

**Commencer les prises de vue toujours par l'arrière bâbord et selon l'ordre indiqué précédemment.** Noter l'heure de début de chaque prise de vue.

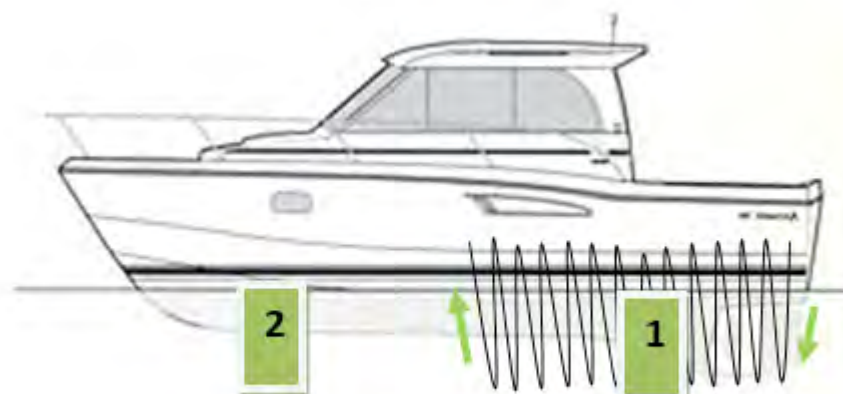
- Démarrer la prise de vue et s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil.
- Placer l'appareil photo à environ 10 – 15 cm de la coque, faire des mouvements réguliers de haut en bas et de bas en haut en avançant progressivement selon le schéma ci-après.
- Ne pas hésiter à descendre suffisamment bas suivant la longueur de la quille (il vaut mieux descendre plus que pas assez).

## SUR VOILIER



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## SUR VEDETTE



Renseigner la fiche de prise de vue (annexe 2).

Récupérer le questionnaire auprès du plaisancier (une fiche à remplir par mois : nombre de sorties, type d'activité pratiquée à chaque sortie, durée des sorties + nombre de lavage le cas échéant..) cf annexe 3 et 3 bis (pour les plaisanciers utilisant le parefouling).

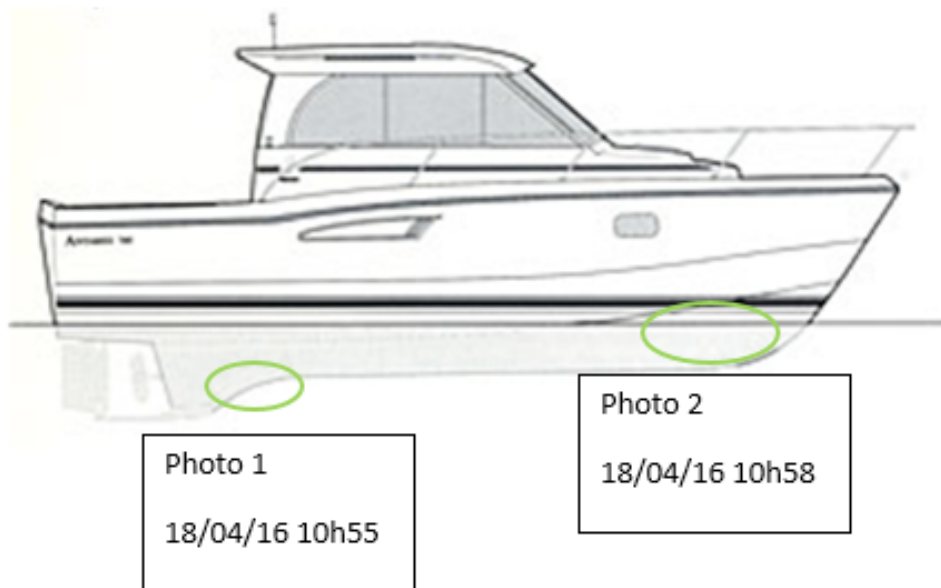
## SUVI D'UN BATEAU À L'ÉCHOUAGE

Photo générale du bateau des 2 côtés, zoom sur la ligne de flottaison si besoin.

Prendre des photos des endroits colonisés et indiquer l'endroit des prises de vue sur le schéma du bateau ou

sur les photos générales du bateau prises lors du 1er suivi et préalablement imprimées.

Noter également les n° des photos ou l'heure de la prise de vue.



# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## LES TESTS

### DÉTERMINATION DES MOLÉCULES IMPACTANTES DANS LA CONSTITUTION DES PEINTURES ET AUTRES REVÊTEMENTS

Le but de cette étude scientifique est de déterminer les molécules pouvant être relarguées en milieu marin par les différents revêtements testés.

Tous les tests ont été réalisés en laboratoire avec deux étapes :

La première étape a été de déterminer le type de molécules présentes dans les peintures. La seconde consistait à mesurer les molécules pouvant être mises en suspension dans de l'eau de mer en présence des techniques testées (peintures et adhésifs).

Cette étape de lixiviation a été conduite dans le laboratoire LBCM de l'UBS. Il s'agissait de recouvrir des cylindres en polycarbonate de peinture ou d'adhésif et de les plonger dans de l'eau de mer synthétique. Le but est de reproduire en laboratoire le comportement d'une peinture ou d'un adhésif dans de l'eau de mer. Les prélèvements ont été réalisés à 3 intervalles de temps différents : au bout d'une semaine, trois mois et six mois. En parallèle, des prélèvements de blancs et d'eau de mer ont été analysés afin de s'affranchir d'un éventuel apport extérieur aux peintures et adhésifs.

Pour la partie analyse des molécules, ce sont les laboratoires d'analyse des polluants organiques, des polluants minéraux et de R&D de LABOCEA qui ont été impliqués.

Les molécules organiques peuvent être très variées, certaines d'origine naturelle et d'autres d'origine industrielle. Les techniques d'analyse utilisées sont la chromatographie en phase liquide et la chromatographie en phase gazeuse. Le principe de la chromatographie est de séparer les différentes molécules présentes dans une solution. Soit cela se fait en utilisant un gradient de différents solvants (phase liquide), soit par un gaz (phase gazeuse). Les molécules sont retenues sur une colonne et ensuite le liquide ou le gaz vient les détacher séparément. Les temps de rétention sont spécifiques pour chaque molécule. L'identification de la molécule se fait ensuite grâce à un spectromètre de masse qui dispose d'une base de données de plusieurs milliers de molécules.



Pour l'analyse des métaux, le laboratoire utilise la polarographie qui est une méthode permettant des limites de quantification très basses pour la recherche des métaux dans les eaux de mer.

Le but est de connaître les principaux polluants susceptibles d'être relargués dans le milieu marin par les techniques alternatives testées (peintures et films adhésifs). Pour ce faire une étape préalable a été de déterminer les constituants de chaque peinture. Les peintures brutes ont donc été analysées en chromatographie en phase gazeuse et en phase liquide.

Par la suite les mêmes analyses ont été reprises sur les échantillons issus de la lixiviation. L'analyse en chromatographie en phase liquide (SPE HPLC MSMS) est un système comprenant une extraction en phase solide puis une séparation des composés en phase liquide et enfin une détection par spectrométrie de masse en tandem. Cette étape a permis de vérifier l'absence de biocides dans certaines peintures et de qualifier ceux présents.

La deuxième méthode utilisée est une séparation des molécules par chromatographie en phase gazeuse puis une détection par spectrométrie de masse, le tout en mode scan pour détecter un maximum de molécules. Cette méthode est très utilisée pour mesurer les solvants notamment.

Les analyses de métaux, cuivre et zinc, ont été réalisées par polarographie CSV, méthode utilisée pour les analyses de polluants minéraux dans les eaux de mer et permettant des limites de quantification très basses.

Tous les résultats seront à mettre en relation avec les tests d'écotoxicité réalisés par le LBCM de l'UBS afin de déterminer l'impact réel de chaque technique testée sur l'environnement marin.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ANALYSE DES PEINTURES BRUTES

Les peintures brutes, c'est-à-dire issues du commerce ou fournies aux plaisanciers, ont été analysées au laboratoire. Des screenings ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse ainsi qu'en chromatographie en phase liquide avec détection par spectrométrie de masse. Pour le passage en chromatographie en phase gazeuse, les échantillons de peinture brute ont été dilués dans un solvant, le dichlorométhane, avant injection en mode SCAN. Des lixiviats ont été réalisés en faisant couler de la peinture sur la paroi interne d'un flacon en verre. Après 30 minutes, un volume d'eau a été rajouté puis on a laissé le tout en contact pendant 3 jours. Ensuite un volume de la solution obtenue a été prélevé et extrait 3 fois successivement par différents solvants :

- Extraction en milieu neutre par du dichlorométhane,
- Extraction en milieu acide par un mélange acétate d'éthyle / dichlorométhane,
- Extraction par du dichlorométhane.

Cette analyse a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs composés listés ci-après en fonction de chaque peinture.

### Peinture Seawax

- Sur peinture brute : présence d'hydrocarbures aliphatiques non ramifiés ainsi que deux molécules (tr\* 44 et 49 min). Détection également d'une molécule de type butyldehydroabiétate. Présence possible d'un solvant, le diméthylformamide.
- Sur lixiviat : l'analyse n'a pas été réalisée car la peinture est miscible dans l'eau.

Cette peinture n'a pas été retenue pour les tests de lixiviation car trop fragile et également abandonnée par les plaisanciers testeurs.

\* tr = temps de rétention.

### Peinture Boero

- Sur peinture brute : présence de solvants dérivés du benzène et de molécules de type aromatiques, présence de tributylacétylcitrate, de molécules de type butyldehydroabiétate. Deux molécules sortant à tr 44 et 49 min sont également visibles. Présence possible d'un biocide, le dichlofluanide, mais le mode scan n'a pas permis son identification certaine.
- Sur lixiviat : présence également de solvants dérivés du benzène et de molécules de type aromatiques, présence de tributylacétylcitrate, de molécules de type butyldehydroabiétate, ainsi que de deux molécules pouvant être du 4,4,8-Triméthyltricyclo[6.3.1.0(1,5)]dodécane-2,9-diol et du 1-Propène, 1,2-bis(4-méthoxyphényl). Beaucoup d'autres molécules sont présentes sans pouvoir être identifiées.

### Peinture International

- Sur peinture brute : présence de solvants principalement de type benzène ainsi que de deux molécules : le triphénylphosphate et l'acide phosphorique, (1-méthylethyl)phényl diphenyl ester. Présence de cuivre.
- Sur lixiviat : le groupe solvant est composé principalement de benzène et de benzaldéhyde. Présence d'un petit groupe de molécules de type méthylphényléthanol et dérivés du phénol, présence de l'acide déhydroabiétique. On observe également deux molécules : le 1-Propène, 1,2-bis(4-méthoxyphényl) et le triphénylphosphate.

### Peinture Nautix R&D

- Sur peinture brute : présence de solvants dérivés du benzène et du benzaldéhyde. Trace de méthyl dehydroabiétate et de méthylabiétate. Seule la molécule sortant à Tr 49 min est visible. Présence de cuivre.
- Sur lixiviat : présence des mêmes solvants que dans la peinture brute, présence de benzènesulfonamide N-ethyl, 2-methyl et de benzènesulfonamide N-ethyl, 4-methyl. On note également la présence du massif d'acide abiétique comme dans la peinture brute ainsi que trois molécules non identifiées à tr 36, 44 et 49 min.

### Peinture M300

- Sur peinture brute : présence de diméthylphtalate ainsi que des molécules sortant à tr 44 et 49 min. Présence de cuivre.
- Sur lixiviat : présence également de diméthylphtalate et de solvants : benzaldéhyde et alpha-méthylstyrène. Les molécules ayant des temps de rétention de 44 et 49 min sont présentes. Détection d'un groupe de molécules (des isomères) non identifiées dans notre base de données mais en quantité importante dans le lixiviat.

### Peinture au silicone Hempel

- Sur peinture brute : présence de polysiloxanes (dérivés siliconés), ainsi que deux molécules non identifiées ayant des temps de rétention de 44 et 49 minutes. Présence d'un phtalate, le di-iso-butylphtalate.
- Sur lixiviat : traces de polysiloxanes, de détergents non ioniques, de molécules dérivées du benzène et du phénol.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ANALYSE DES PEINTURES ET AUTRES REVETEMENTS EN SITUATION

Une expérience a été menée en laboratoire afin de simuler le comportement d'une peinture ou d'un film adhésif sur une carène en milieu marin pendant une durée donnée : la lixiviation

### PROTOCOLE DE LIXIVIATION

La lixiviation a été réalisée par le Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marine (LBCM) de l'Université de Bretagne Sud situé à Lorient.

Les peintures et adhésifs testés ont été immergés dans des bacs d'eau de mer afin de simuler leur vieillissement dans le temps et de mesurer le type et la quantité de molécules relarguées dans le milieu.

Des cylindres ont été recouverts de peinture ou d'adhésif puis immergés dans des bacs contenant de l'eau de mer.

Pour chaque technique, l'expérience a été réalisée simultanément sur deux cylindres. Pour notre étude nous avons voulu simuler une saison de navigation en effectuant un suivi sur 6 mois.

Des prélèvements d'eau de mer ont été échantillonnés par le LBCM après une semaine, 3 mois et 6 mois d'immersion. Les analyses des échantillons d'eau de mer issus de la lixiviation ont été réalisées au sein des laboratoires de LABOCEA. En complément des analyses ont été réalisées sur les blancs (cylindres nus) et sur les eaux de mer.

Au préalable, afin de mieux cibler les substances susceptibles d'être relarguées par chacune des peintures et adhésifs, des screenings ont été réalisés au laboratoire ((voir partie précédente).

### LIXIVIATION, RÉSULTATS DES ANALYSES EN CHROMATOGRAPHIE PHASE GAZEUSE

Les analyses sont représentatives des molécules susceptibles d'être relarguées dans les eaux de mer au bout d'une semaine d'immersion, 3 mois et 6 mois. Seul l'effet de la migration est pris en compte, pas les changements de température, salinité ou encore d'ensoleillement. Ces trois échantillonnages doivent permettre d'avoir connaissance des molécules que peut émettre la peinture après son application, d'où l'échantillonnage au bout d'une semaine d'immersion. L'échantillonnage au bout de 3 mois permet de cibler les rejets au milieu de la saison de navigation et enfin pour l'échantillonnage à 6 mois il s'agit de voir s'il y a encore du relargage en fin de saison de navigation.

Le protocole de lixiviation recommande de réaliser les tests sur deux cylindres. Afin de simplifier l'interprétation, seule la concentration maximale entre les deux cylindres a été conservée. On se place donc dans la situation la plus défavorable pour le milieu.

Afin de s'affranchir de tout apport extérieur, des blancs et les eaux de mer ont été analysés. Les blancs représentent le relargage par le cylindre en polycarbonate sans revêtement. Les eaux de mer sont celles utilisées pour la lixiviation.

### Blancs et eau de mer

On retrouve quasiment les mêmes molécules dans les blancs et dans les eaux de mer mais pas nécessairement les mêmes suivant les campagnes d'échantillonnage.

Au bout d'une semaine d'immersion on quantifie 3 molécules dans les blancs et 2 dans les eaux de mer. L'acide n-hexadécanoïque (ou acide palmitique) est

présent seulement dans le blanc à une concentration de 1,10 µg/l, donc relativement importante. C'est un acide gras saturé, il peut être utilisé comme plastifiant dans certaines peintures, il entre également dans la fabrication de margarine ou de savons durs.

Molécule	Blanc			Eau de mer		
	1 semaine	3 mois	6 mois	1 semaine	3 mois	6 mois
Acide n-hexadécanoïque	1.10 µg/l	nd	nd	<0.05 µg/l	nd	nd
Acide benzoïque 4-éthoxy-éthyl ester	0.38 µg/l	1.91 µg/l	0.11 µg/l	0.35 µg/l	2.36 µg/l	0.20 µg/l
2,4-bis(1-méthyl,1-phényléthyl) phénol	0.21 µg/l	0.19 µg/l	0.12 µg/l	0.17 µg/l	0.27 µg/l	0.22 µg/l

nd : molécule non détectée.

Dans le blanc et l'eau de mer, on trouve du 2,4-bis(1-méthyl,1-phényléthyl) phénol et de l'acide benzoïque 4-éthoxy-éthyl ester. Pour la première molécule, il existe peu de données si ce n'est qu'elle est utilisée dans l'industrie (usage intermédiaire). <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.018.606>. Selon REACH, cette substance est très toxique pour la vie aquatique, elle est très toxique pour les organismes aquatiques, a des effets à long terme et peut causer des lésions oculaires graves. La seconde molécule est un ester aromatique <http://www.lookchem.com/Ethyl-4-etoxybenzoate/>, pouvant être utilisé pour produire d'autres composés organiques, peut être présent dans les produits pharmaceutiques, les produits agrochimiques et les colorants.

Le niveau de concentration est équivalent dans les blancs et dans les eaux de mer dans le prélèvement d'une semaine, sauf pour l'acide n-hexadécanoïque qui n'a été détecté que dans les blancs.

L'acide n-hexadécanoïque n'a pas été quantifié sur les deux autres campagnes. Par contre les deux autres molécules étaient encore présentes au bout de 3 mois et 6 mois avec une nette augmentation à 3 mois pour l'acide benzoïque : 1.91 µg/l dans les blancs et 2.36 µg/l dans les eaux de mer. Il y a donc un relargage de cette molécule par le système de lixiviation (cylindres). Au bout de 6 mois les niveaux de concentration sont redescendus à des niveaux très faibles. Pour le phénol, les teneurs ont peu varié durant l'expérience.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

L'échantillonnage au bout de 3 mois d'immersion est celui qui présente le plus grand nombre de molécules dans les blancs et les eaux de mer. 16 molécules diffé-

rentes ont été identifiées dans les blancs et 10 dans les eaux de mer.

Paramètres en µg/l	Blanc			eau de mer		
	1 semaine	3 mois	6 mois	1 semaine	3 mois	6 mois
phénol		0,12			< 0,10	
4-éthoxy phénol		0,11			0,16	
2,4bis(1,1-dymethyl) phénol		0,25	0,22		0,25	0,25
4,4'-(1-methylethylidene)bis phénol	< 0,05	3,22	0,15	< 0,05	< 0,10	< 0,10
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl)phénol	0,21	0,19	0,12	0,17	0,27	0,22
acide n-hexadecanoïque	1,1			< 0,05		
acide benzoïque 4-ethxy-ethyl ester	0,38	1,91	0,11	0,35	2,36	0,2
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,82			0,41	
1(3H)isobenzofuranone		0,54			0,54	
2(3H)benzothiaolone		0,27			0,24	
bebensulfonamid N butyl	< 0,05	1,14		< 0,05	0,7	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	< 0,05	0,2	0,55	< 0,05	0,21	0,21
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl-2,4,6-triphényl)		0,15	0,17		0,16	0,21
cyclotrisiloxane 2,4,6-triméthyl-2,4,6-triphényl		1,85			< 0,10	
di nbutylphtalate			0,13			< 0,10
DEHP	< 0,05	0,18	< 0,10	< 0,05	< 0,10	< 0,10
squalène		0,32			< 0,10	
cholestérol		0,18			< 0,10	

On retrouve des acides organiques, des phénols et des phtalates (pouvant provenir du cylindre plastique). La présence de squalène (notamment présent dans le sébum humain) et de cholestérol (se trouve dans les aliments d'origine animale ou dans le sang humain) dans les blancs peut s'expliquer par une contamination croisée vraisemblablement d'origine humaine.

Au bout de 6 mois d'immersion, le nombre de molécules retrouvées a fortement diminué : 7 dans les blancs et 5 dans les eaux de mer.

Ces molécules sont donc susceptibles d'être également retrouvées dans les échantillons des techniques testées sans pour autant leur être imputable. Ces molécules sont surlignées en rose dans les tableaux suivants et les concentrations en gras représentent les valeurs supérieures aux concentrations des blancs et eau de mer.

## Boero

La peinture Boero est une peinture antifouling classique provenant du commerce et contenant des biocides comme principe actif.

**Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer :**

Paramètres en µg/l	Boero		
	1 semaine	3 mois	6 mois
2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol	<b>0,14</b>	0,21	0,22
4,4'-(1-méthylethylidène)bis phénol	<b>0,83</b>	-	0,11
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	0,21	0,21	0,16
acide n-hexadecanoïque	1,12		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	0,32	2,50	0,24
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,49	
1(3H)-isobenzofuranone		0,53	
2(3H) benzothiazolone		0,20	
benzensulfonamid N butyl		0,72	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis (2-méthylpropyl)ester	<b>0,21</b>	0,31	0,59
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	<b>0,24</b>	0,18	0,21
DEHP	<b>0,17</b>		
squalène	<b>0,61</b>	-	
cholestérol	<b>0,37</b>	-	

Les molécules en gras dans le tableau sont celles qui ont été quantifiées en plus forte concentration dans l'échantillon Boero que dans les blancs et eau de mer. Cela ne concerne que la campagne d'une semaine d'immersion et 7 molécules.

Parmi les phénols pouvant provenir de la peinture Boero on trouve le 2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol et surtout le 4,4'-(1-méthyléthylidène)bis phénol (appelé également Bisphenol A ou BPA) a une concentration de 0.83 µg/l. Le BPA est présent dans les plastiques en polycarbonate et dans les résines époxy.

Parmi les molécules pouvant être utilisées comme additif en tant que plastifiant on trouve les phtalates avec l'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl) ester, l'acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester et le di(2-éthylexyl) phtalate.

Le squalène et le cholestérol ont une origine autre que provenant de la peinture Boero.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Autres molécules

Paramètres en µg/l	Boero		
	1 semaine	3 mois	6 mois
1,2,3-triméthyle benzène	2,21	1,40	0,08
1-éthyl 2-méthyle benzène		0,21	
1,2-diéthylbenzène	0,13		
1-méthyl-3-propylbenzène	0,26		
1-méthyl-4-propylbenzène	0,10		
1-éthyl-2,3-diméthylbenzène	0,27		
1,2,3,4-tetraméthylbenzène	0,22		
1-méthyl-2-isopropylbenzène (o-cymène)	0,73		
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,30		
alcool benzylique	0,16		
indane	0,52		
1-penten-3-one,1-(2,6,6-triméthyl-1-cyclohexen-1-yl)	0,09		
acide 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphénylpropionique	0,13		
acide octadecanoïque	0,88		
Tributyl acetylcitrate	0,20		

Les dérivés du benzène sont des hydrocarbures aromatiques légers pouvant provenir des solvants naphtha ([http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no\\_produit=89805](http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=89805)) entrant dans la composition des peintures et notamment le 1,2,3-triméthyl benzène. Il est classé toxique pour la vie aquatique avec des effets à long terme ([https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1\\_2\\_3-trimethylbenzene#section=Safety-and-Hazards](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_2_3-trimethylbenzene#section=Safety-and-Hazards)). Le 1,2,3-triméthyl benzène a été quantifié lors des 3 campagnes d'échantillonnage avec un relargage maximum au bout d'une semaine mais les concentrations étaient encore élevées au bout de 3 mois (1,40 µg/l).

Le 7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione est un produit de dégradation.

L'alcool benzylique est un agent conservateur et antioxydant pouvant donc provenir de la peinture.

Les autres molécules retrouvées ne semblent pas provenir de la peinture Boero.

En plus de ces molécules identifiées, six autres molécules étaient présentes dans le prélèvement d'une semaine, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Au bout de 3 mois il y avait cinq molécules non identifiées dont quatre également présentes dans les blancs. Et enfin au bout de six mois, trois molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.



## International

La peinture International vient du commerce et utilise principalement le cuivre comme biocide.

### Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer

Paramètres en µg/l	International		
	1 semaine	3 mois	6 mois
phénol		<b>0,46</b>	
2,4bis(1,1-diméthyléthyl)phénol		0,19	0,24
4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	<b>0,39</b>	-	0,16
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	<b>0,87</b>	-	0,13
acide n-hexadecanoïque	<b>2,27</b>		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	-	1,72	0,24
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		<b>1,20</b>	
1(3H)-isobenzofuranone		0,52	
2(3H) benzothiazolone		<b>0,44</b>	
Benzensulfonamid N butyl		0,76	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	<b>0,20</b>	0,25	<b>0,81</b>
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	<b>0,26</b>	0,16	0,19
DEHP	<b>0,11</b>	<b>0,93</b>	0,12
squalène	<b>0,44</b>	0,10	<b>0,09</b>

Parmi les molécules présentes dans les blancs et eau de mer et également dans cet échantillon, issu de la lixiviation des cylindres recouverts de peinture International, certaines sont à des teneurs supérieures. C'est le cas de certains phénols mais qui semblent plutôt provenir du cylindre, le phénol étant utilisé pour la production de polycarbonate. De même pour les phtalates qui semblent provenir du cylindre.

L'acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle peut être utilisé comme lubrifiant et est présent sur la même campagne dans les blancs et les eaux de mer. Même si sa concen-

tration est plus élevée dans cet échantillon (1,20 µg/l) que dans le blanc (0,82 µg/l) il ne semble pas que cette molécule provienne de la peinture International.

Le 2(3H) benzothiazolone semble être utilisé dans certains médicaments donc ne provient pas de la peinture International.

De même, la présence de squalène, provenant du sébum humain, est autre.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Autres molécules

Paramètres en µg/l	International		
	1 semaine	3 mois	6 mois
benzène propyle		0,13	
Benzene 1-éthyl 3-méthyle		0,67	
Benzene 1-éthyl 2-méthyle		0,37	
Benzene 1,2,3-triméthyle	2,39	2,59	0,20
1,2-diéthylbenzène	0,15		
1,3-diéthylbenzène		0,21	
2-éthyl-1,4-diméthylbenzène		0,37	
1-éthyl-2,3-diméthylbenzène	0,57		
1-méthyl-3-propylbenzène	0,34	0,11	0,06
1-méthyl-4-propylbenzène	0,14		
1-méthyl-2-isopropylbenzène (o-cymène)	1,56		
1,2,3,4-tetraméthylbenzène	0,71		
2(1-méthyléthyl)phénol	0,29	0,32	0,09
4(1-méthyléthyl)phénol	0,29	0,22	
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,23		
alcool benzylique		0,21	
indane	0,53	0,13	0,05
acide 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphénylpropionique	0,11		
acide octadecanoïque	1,89		
acide oléique	0,80		
acide phosphorique (1-méthyléthyl)phényldiphényl ester	0,39	0,26	0,31
1,3 dioxane, 4 phényl			0,13
Caprolactam (nylon)		0,11	
triphénylphosphate	0,29		
phtalate di isononyl			0,18

Les molécules dérivées du benzène sont des solvants issus de la peinture International. Certains dérivés sont quantifiés au bout d'une semaine puis absents par la suite tandis que d'autres apparaissent plutôt au bout de 3 mois. Deux composés sont présents sur les trois campagnes : le benzène 1,2,3-triméthyle et le 1-méthyl-3-propylbenzène.

Pour le benzène 1,2,3-triméthyle on remarque des concentrations élevées même au bout de 3 mois (2.59 µg/l).

Les phénols (2(1-méthyléthyl)phénol et 4(1-méthyléthyl)phénol) peuvent provenir de la peinture car ils peuvent être présents dans les résines époxy.

Le 7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione est un produit de dégradation, il n'est présent que lors de la première campagne.

L'alcool benzylique est un agent conservateur, antioxydant, on en retrouve au bout de 3 mois d'immersion à une concentration de 0.21 µg/l.

L'indane est un hydrocarbure bicyclique aromatique, il est quantifié sur les trois campagnes de façon dégressive.

L'acide 3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphénylpropionique est un stabilisant/antioxydant et peut provenir de la peinture mais il n'a été quantifié que sur une campagne et à une dose très faible (0.11 µg/l).

Les acides gras que sont l'acide octadécanoïque et l'acide oléique, associés à la présence de squalène peuvent expliquer une contamination externe de l'échantillon. En effet ces deux acides peuvent être présents dans des savons.

L'acide phosphorique (1-méthyléthyl)phényldiphényl ester est utilisé comme retardateur de flamme dans les plastiques, fluide hydraulique ou encore additif lubrifiant. Il est quantifié à des niveaux comparables sur les trois campagnes (0.26 à 0.39 µg/l).

Les dioxanes sont des solvants utilisés dans l'industrie des peintures donc le 1,3 dioxane-4-phényl peut provenir de la peinture International, cependant il n'est présent que lors de l'échantillonnage des 6 mois et qui plus est en faible quantité (0.13 µg/l).

Le caprolactam correspond à du nylon et provient donc d'une contamination extérieure.

Le triphénylphosphate est un plastifiant et un retardateur de flamme, il n'est présent que lors de la première campagne à une concentration de 0.29 µg/l.

Le phtalate di isononyl est un phtalate présent dans les plastiques.

En plus de ces molécules identifiées, six autres molécules étaient présentes dans le prélèvement de 3 mois, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Et enfin au bout de six mois, deux molécules n'ont pas été identifiées toutes deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Nautix R&D

La peinture testée est issue de la section recherche et développement de la société Nautix. Elle est à base de polymères biodégradables.

### Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer

Paramètres en µg/l	Nautix		
	1 semaine	3 mois	6 mois
2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol		0,15	0,25
4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	<b>0,18</b>	-	0,13
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	-	-	0,15
acide n-hexadecanoïque	0,21		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	0,38	2,26	0,21
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		<b>0,94</b>	
1(3H)-isobenzofuranone		0,49	
2(3H) benzothiazolone		0,23	
Benzensulfonamid N butyl		0,65	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	<b>0,21</b>	<b>0,30</b>	2,82
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>	0,20
di nbutylphtalate			0,15
DEHP	<b>0,19</b>	-	0,09
squalène	<b>0,55</b>		
cholestérol	<b>0,27</b>		

La présence des phénols est liée au cylindre en lui-même, à noter une concentration plus élevée en 4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol dans l'échantillon d'une semaine (0.18 µg/l contre absence dans les blancs et eau de mer).

L'acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle a une teneur légèrement plus élevée que dans les blancs (0.94 µg/l contre 0.82 µg/l) mais étant donné que c'est un lubrifiant il semble provenir des cylindres.

On constate une nette augmentation des phtalates

que sont l'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester, l'acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester et le di(-2éthylhexyl) phtalate (DEHP).

Le squalène et le cholestérol ont également été mesurés lors de la campagne d'une semaine d'immersion alors qu'ils n'étaient pas détectés dans les blancs et eau de mer lors de cette campagne. Il s'agit ici d'une pollution externe de l'échantillon.

**Autres molécules**

Paramètres en µg/l	Nautix		
	1 semaine	3 mois	6 mois
Benzène 1-éthyl 3-méthyle		0,14	
Benzène 1-éthyl 2-méthyle		0,15	
Benzène 1,2,3-triméthyle	2,87	1,07	0,09
1-éthyl-2,3-diméthylbenzène	0,20		
1-méthyl-3-propylbenzène	0,11		
1-méthyl-2-isopropylbenzène (o-cymène)	0,54		
1,2,3,4-tetraméthylbenzène	0,36		
Indane	0,36		
acide octadécanoïque	0,29		
acetophenone			0,04
1,3-dioxane,4-phényl			0,10
phtalate di isononyl			0,11

Les molécules à base de benzène sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques et peuvent être utilisées comme solvant, plastifiants, détergents... On en retrouve dans la composition des peintures antifouling. La molécule présente en plus forte concentration est le benzène 1,2,3 triméthyle avec 2.87 µg/l dans les eaux lors de la 1ère campagne. Ses teneurs diminuent ensuite mais on reste encore supérieur à 1 µg/l au bout de 3 mois d'immersion.

Les dérivés de l'indane peuvent être utilisés comme médicaments, insecticides ou encore dans des parfums, sa présence ne semble donc pas liée à la peinture Nautix. De même pour l'acide octadécanoïque qui est un acide gras pouvant être utilisé dans les savons. L'acétophénone peut être utilisée comme solvant et peut donc, potentiellement, provenir la peinture Nautix. De même pour le 1,3-dioxane,4-phényl qui est utilisé dans l'industrie des peintures.

Le phtalate di isononyl est un plastifiant.

En plus de ces molécules identifiées, trois autres molécules étaient présentes dans le prélèvement de 3 mois, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Et enfin au bout de six mois, quatre molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## M300

La peinture M300, de la société Meto & Co est composée d'une résine, de cuivre et d'un durcisseur (MEKP).

**Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer**

Paramètres en µg/l	M300		
	1 semaine	3 mois	6 mois
2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol		0,13	0,21
4,4'-(1-methylethylidene)bis phénol	<b>0,37</b>	-	<b>6,31</b>
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	-	-	0,09
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester		1,74	<b>0,32</b>
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		<b>1,23</b>	
1(3H)-isobenzofuranone		<b>0,63</b>	
2(3H) benzothiazolone		<b>0,53</b>	
Benzensulfonamid N butyl		0,82	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester		0,31	0,29
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	<b>0,28</b>	0,22	0,22
cyclotrisiloxane, 2,4,6-triméthyl- 2,4,6-triphényl		-	<b>0,25</b>
DEHP		<b>1,92</b>	<b>0,14</b>
squalène	<b>0,13</b>	0,26	

Parmi les phénols mesurés dans les blancs et eau de mer on trouve du 4,4'-(1-methylethylidene)bis phénol en plus forte quantité dans les eaux issues de la lixiviation de la peinture M300, principalement lors de la campagne après 6 mois d'immersion. On trouve une concentration de 6.31 µg/l contre 0.22 à 0.25 µg/l dans les blancs et eau de mer. Le BPA est présent dans de nombreux plastiques mais également dans les résines époxy.

L'acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester peut être utilisé pour produire d'autres composés organiques, il peut être présent dans les produits pharmaceutiques, les produits agrochimiques et les colorants. Sa concentration est élevée au bout de 3 mois d'immersion de la peinture M300 mais moins que dans les blancs et eau de mer. Par contre on en trouve plus au bout de 6 mois.

L'acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle peut être utilisé comme lubrifiant, on en retrouve un peu plus dans les lixiviats de la peinture M300.

Le 1(3H)-isobenzofuranone et le 2(3H) benzothiazolone sont des médicaments présents également dans les échantillons d'eau de mer et les blancs lors de la campagne des 3 mois. Leur concentration est plus élevée dans les lixiviats issus de la peinture M300 mais ils ne proviennent pas de la peinture mais plutôt d'un apport externe lors de la manipulation des échantillons.

Les phtalates que sont l'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester et l'acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester sont présents en quantité légèrement plus élevée que dans les blancs et eau de mer. Par contre on note une nette augmentation du DEHP, surtout au bout de 3 mois d'immersion : 1.92 µg/l. On peut se poser la question s'il s'agit d'une molécule intégrée à la peinture.

**Autres molécules**

Paramètres en µg/l	M300		
	1 semaine	3 mois	6 mois
p-isopropenyl phénol			0,16
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,12		
alcool benzylique		0,87	
1,3-dioxane, 4-phényl			0,10
2,2' bis(p-acétoxyphényl)propane			0,32
acétophénone	0,11	0,14	
Caprolactam (nylon)		0,11	
diméthylphtalate	0,71		
cyclohexane dicarboxilique acid ester (plastifiant)	4,56		
groupe de phtalates			0,39

On remarque également la présence de plusieurs molécules plastifiantes comme le p-isopropenyl phénol, le caprolactam, cyclohexane dicarboxilique acid ester ou encore un groupe de phtalates non identifiés précisément. Cela semble provenir de la peinture M300. Le diméthylphtalate avait été retrouvé en forte quantité dans la peinture brute, cette molécule est utilisée dans le durcisseur.

L'alcool benzylique est un agent conservateur, antioxydant. Il est présent à une concentration relativement élevée (0.87 µg/l) et peut provenir de la peinture M300.

En plus de ces molécules identifiées, cinq autres molécules étaient présentes dans le prélèvement d'une semaine, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Au bout de 3 mois il y avait cinq molécules non identifiées dont trois également présentes dans les blancs. Et enfin au bout de six mois, six molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Hempel

Cette peinture est à base de silicone améliorant la glisse et à la surface lisse non propice au développement du fouling.

### Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer

Paramètres en µg/l	Hempel		
	1 semaine	3 mois	6 mois
2,4bis(1,1-diméthyléthyl)phénol	0,20	0,13	0,19
4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	0,49	-	0,29
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	0,19	-	0,13
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	0,30	0,93	0,17
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,68	
1(3H)-isobenzofuranone		0,33	
2(3H) benzothiazolone		0,36	
Benzensulfonamid N butyl		0,53	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester		0,18	2,05
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	2,51	0,12	0,19
DEHP	0,07	0,17	
squalène		0,14	

Parmi les phénols entrant dans la fabrication des résines époxy ou du polycarbonate, on trouve du 4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol en plus grande concentration dans les échantillons issus de la peinture Hempel que dans les blancs et eau de mer.

Le 2(3H) benzothiazolone est également retrouvé en plus grande quantité (0.36 µg/l contre 0.27 µg/l dans les blancs). Cette molécule est utilisée dans certains médicaments.

Enfin la présence de phtalates est également accrue avec 2.05 µg/l d'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester au bout de 6 mois d'immersion (0.55 µg/l dans les blancs) et 2.51 µg/l d'acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester (0.21 µg/l dans les échantillons eaux de mer).



**Autres molécules**

Paramètres en µg/l	Hempel		
	1 semaine	3 mois	6 mois
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,15		
2(1-méthyléthyl)phénol	0,52		
4(1-méthyléthyl)phénol	0,38		
1,3 dioxane, 4 phényl			0,12
phtalate di isononyl			0,08
huile de silicone		1,43	1,07

Seulement 6 molécules ont été identifiées dans les lixiviats de la peinture Hempel. Il y a la présence de composés phénolés qui sont des plastifiant lors de la campagne d'une semaine d'immersion et surtout des huiles de silicone à plus de 1 µg/l même après 6 mois d'immersion. D'après la fiche de données de sécurité du produit, les molécules « silicone » sont l'octaméthylcyclotétrasiloxane et la 2-pentanone,O,O',O''-éthenylsilylidyne)trioxime. La première molécule a une toxicité aiguë à partir de 15 µg/l et une toxicité chronique minimale de 1.7 µg/l sur certains organismes d'eau douce (daphnies). La seconde molécule n'est pas classée pour avoir un effet sur l'environnement <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/11542/6/2/8>.

Malgré la présence de solvant benzène dans la peinture, on ne retrouve pas de dérivés benzéniques dans les lixiviats.

En plus de ces molécules identifiées, trois autres molécules étaient présentes dans le prélèvement d'une semaine, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Au bout de 3 mois il y avait cinq molécules non identifiées dont trois également présentes dans les blancs. Et enfin au bout de six mois, trois molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Adhésif Uniflow Silikon Top

C'est un film adhésif composé de trois couches polymère dont la dernière est recouverte de silicone.

### Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer

Paramètres en µg/l	Adhésif Uniflow		
	1 semaine	3 mois	6 mois
2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol	0,21	0,22	0,20
4,4'-(1-methylethylidene)bis phénol	<b>0,40</b>		
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol			0,11
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester		1,57	0,14
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,73	
1(3H)-isobenzofuranone		0,37	
2(3H) benzothiazolone		0,19	
Benzensulfonamid N butyl		0,80	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester		<b>0,39</b>	<b>2,49</b>
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester		0,16	0,18
DEHP		0,13	0,10
squalène		0,11	
cholestérol	<b>0,18</b>		

Parmi les molécules retrouvées dans les blancs et eau de mer on en quantifie également un certain nombre dans les eaux issues de la lixiviation de l'adhésif Uniflow. Trois molécules présentent des concentrations supérieures à celles mesurées dans les blancs et eau de mer : le 4,4'-(1-methylethylidene)bis phénol qui est un plastifiant, l'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester qui est un phtalate et le cholestérol (source externe).

La concentration en phtalate est plus élevée au bout de 6 mois qu'au bout de 3 mois et nettement plus forte que dans les blancs et eau de mer (2.49 µg/l contre 0.55 µg/l dans les blancs). Il peut donc s'agir d'un relargage de molécule provenant de l'adhésif.

**Autres molécules**

Paramètres en µg/l	Adhésif Uniflow		
	1 semaine	3 mois	6 mois
phénols, acides gras, dérivés d'acides gras	13,29		
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,37		
dibenzoylméthane	0,47		
1,3-dioxane, 4-phényl			0,12
type morpholin, 4-phényl			0,47
acide adipique di(but-2-en-1-yl)ester	0,57		
acide 2-butènedioic (E),bis(2éthylhexyl) ester (plastifiant)	0,19		
éthanol,2-butoxy-phosphate(3:1)	16,20		
phtalate di isononyl			0,13

Tous les composés listés dans le tableau ci-dessus peuvent provenir d'un relargage de l'adhésif. En effet il s'agit de molécules utilisées comme plastifiant, solvant pour peintures, colorants, retardateur de flamme...

Les phénols sont retrouvés fréquemment dans les plastiques, la concentration mesurée ici est élevée : 13.29 µg/l.

L'éthanol,2-butoxy-phosphate(3:1) est un retardateur de flamme, solvant, utilisé dans les peintures, lubrifiants, graisses ou encore plastiques. Son origine semble donc bien être les adhésifs Uniflow, la concentration mesurée est élevée : 16.2 µg/l après une semaine d'immersion. Il n'est pas retrouvé par la suite.

En plus de ces molécules identifiées, dix autres molécules étaient présentes dans le prélèvement d'une semaine, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Au bout de 3 mois il y avait quatre molécules non identifiées dont trois également présentes dans les blancs. Et enfin au bout de six mois, quatre molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## Adhésif anti-graffitis GSDI

Il s'agit d'un adhésif provenant de la société GSDI. Sa surface lisse permet de limiter l'accroche du fouling et son nettoyage lors de la navigation.

### Molécules également présentes dans les blancs et eau de mer

Paramètres en µg/l	Adhésif GSDI		
	1 semaine	3 mois	6 mois
4-éthoxy phénol		0,15	
2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol		0,31	0,29
4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	2,49		0,07
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol		0,23	0,15
acide n-hexadecanoïque	0,63		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	0,42	2,10	0,14
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,53	
1(3H)-isobenzofuranone		0,50	
2(3H) benzothiazolone		0,25	
Benzensulfonamid N butyl		0,77	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	0,50	0,26	0,83
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	0,36	0,16	0,43
cyclotrisiloxane 2,4,6-triméthyl-2,4,6-triphényl		0,81	0,82
DEHP	0,24	0,11	0,09
squalène	0,97		
cholestérol	1,10		

Les 4 molécules phénol retrouvées dans les blancs et les eaux de mer sont également retrouvées dans les lixiviats de l'adhésif GSDI. Cependant la concentration de deux d'entre eux est plus élevée : le 2,4bis(1,1-diméthyléthyl) phénol et surtout le 4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol avec 2.49 µg/l après une semaine d'immersion. Cependant cette molécule n'est plus mesurée au bout de 3 mois et très faiblement au bout de 6 mois. L'origine peut être un relargage provenant de l'adhésif.

Des phtalates sont également présents en plus forte quantité comme l'acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester, l'acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester et le DEHP.

On note également la présence de silicone et plus particulièrement lors de la campagne de 6 mois alors que cette molécule (le cyclotrisiloxane) était absente des blancs et eau de mer.

Pour le squalène et le cholestérol, leur apport provient d'une source externe.

## Autres molécules

Paramètres en µg/l	Adhésif GSDI		
	1 semaine	3 mois	6 mois
Benzène 1,2,3-triméthyle	1,01	0,22	
2(1-méthyléthyl)phénol	2,18	0,13	
4(1-méthyléthyl)phénol	1,84		
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspirol(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	0,77		
alcool benzylique	0,18	0,68	
Indane	0,30		
1,3-dioxane, 4-phényl			0,13
cyclohexane dicarboxilique acid ester (plastifiant)	6,50		
1,2cyclohexane acide dicarboxylique ester (plastifiant)	6,50		
groupe de phtalates		18,90	11,00

Des solvants comme le benzène 1,2,3-triméthyle et le 1,3-dioxane, 4-phényl sont utilisés dans les peintures. Le premier est surtout retrouvé en tout début d'expérience à une concentration de 1.01 µg/l.

Des phénols, absents des blancs et eau de mer, sont quantifiés dans les cylindres de l'adhésif au bout d'une semaine d'immersion également à des concentrations importantes : 1.84 et 2.18 µg/l. ces phénols sont utilisés dans la fabrication des plastiques.

L'alcool benzylique est également présent, il s'agit d'un agent conservateur/antioxydant.

Enfin de nombreux phtalates provenant vraisemblablement de l'adhésif sont mesurés tout au long de l'expérience de lixiviation entre 11 et 19 µg/l.

En plus de ces molécules identifiées, dix autres molécules étaient présentes dans le prélèvement d'une semaine, sans que l'on puisse les identifier à partir de notre base de données. Au bout de 3 mois il y avait quinze molécules non identifiées dont trois également présentes dans les blancs. Et enfin au bout de six mois, vingt-deux molécules n'ont pas été identifiées dont deux présentes également dans les blancs et eau de mer.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## LIXIVIATION, RÉSULTATS ANALYSES MÉTAUX

Les concentrations en cuivre et zinc dans les tableaux suivants sont données en µg/l.

### Blancs et eau de mer

	Blanc	Blanc	Blanc	eau de mer	eau de mer	eau de mer
	1 semaine	3 mois	6 mois	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	7	31	5,4	2,8	10	4,6
Zinc	297	234	9,6	171	235	9,2

Le cuivre et le zinc sont présents en quantité infime dans les eaux de mer, ils proviennent donc principalement du blanc donc du cylindre en lui-même. Afin de

déterminer la partie provenant de la peinture testée, nous avons donc retranché la valeur du blanc dans les résultats présentés ci-après.

### Boero

	Boero	Boero	Boero
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	77	581	89
Zinc	0	114	16

Le taux de relargage du cuivre est maximum au bout de 3 mois d'immersion, les concentrations diminuent par la suite pour arriver au même ordre de grandeur au bout de 6 mois qu'au bout d'une semaine. Le zinc

est nettement moins présent dans la peinture, le relargage maximum se fait également au bout de 3 mois mais les concentrations sont moindres.

### International

	International	International	International
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	45	1295	75
Zinc	60	533	30

Le cuivre présent dans la peinture se retrouve en concentration maximale dans les eaux au bout de 3 mois d'immersion. Les teneurs sont supérieures à 1 000 µg/l soit plus de 1 mg/l. De la même manière, le

zinc se retrouve présent en quantité maximale au bout de 3 mois d'immersion de la peinture. Les teneurs sont élevées mais deux fois moins que le cuivre.

### Nautix R&D

	Nautix	Nautix	Nautix
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	30	676	71
Zinc	0	45	42

La peinture Nautix contient du cuivre qui se retrouve en quantité maximale dans les eaux après 3 mois d'immersion. La concentration maximale est de 676 µg/l.

Par contre le zinc est présent en très faible quantité.

### M300

	M300	M300	M300
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	24	3095	334
Zinc	24	0	4

La composante principale de la peinture M300 est le cuivre, ce qui explique les fortes concentrations mesurées. Après 3 mois d'immersion on mesure plus de 3 mg/l de cuivre dans les eaux. Les concentrations sont

divisées par 10 au bout de 6 mois. Par contre, il n'y a pas de relargage de zinc, celui-ci étant absent de la peinture.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## SYNTHÈSE

	Molécules retrouvées	Dates
Boero	Solvants benzène	1 semaine à 3 mois
	Cu+ et Zn+	3 mois
International	Solvants benzène en grand nombre	1 semaine à 3 mois
	Phénols	1 semaine à 6 mois
	Acides gras	1 semaine
	Retardateur de flamme	1 semaine à 6 mois
	Cu++ et Zn+++	3 mois
Nautix R&D	Solvants benzène	3 mois
	Cu+	3 mois
M300	Phénols	1 semaine à 6 mois
	Phtalates	3 mois à 6 mois
	Molécules plastifiantes	1 semaine
	Cu+++	3 mois
Hempel	Phénols	1 semaine
	Phtalates	1 semaine
	Huiles de silicone	1 semaine à 6 mois
Adhésif Uniflow	Phénols, acides gras	1 semaine
	Phtalates	1 semaine à 6 mois
	Retardateur de flamme	1 semaine
Adhésif GSDI	Solvant benzène	1 semaine
	Phénols	1 semaine
	Phtalates	1 semaine à 6 mois
	Silicone	6 mois
	Plastifiants	1 semaine

Cu : Cuivre

Zn : Zinc



## CONCLUSION SUR LA DÉTERMINATION DES MOLÉCULES IMPACTANTES

Dans les peintures classiques Boéro et International et l'adhésif MacGlide on note principalement la présence de **solvants benzène** dont le 1,2,3-triméthyle benzène. En milieu marin, ce solvant aura tendance à s'adsorber sur les particules en suspension ou dans les sédiments. Selon la classification ECHA, le 1,2,3-triméthyle benzène est classé toxique pour la vie aquatique avec des effets à long terme dans seulement 10 % des notifications des fabricants.

Les **phénols** sont des molécules présentes dans certains plastiques et dans les résines époxy. Parmi les phénols on retrouve du Bisphénol A, cette molécule est classée perturbateur endocrinien pour l'homme, il n'y a pas d'information précises sur l'écotoxicité du BPA en milieu marin.

<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/dp-meso-bpa-def-1384505029.pdf>

Les **phtalates** sont des **plastifiants** et peuvent être utilisés dans certaines peintures, y compris des adhésifs. Il n'y a pas de données d'écotoxicité.

Plusieurs molécules utilisées comme plastifiant ou **retardateur de flamme** sont également retrouvées mais on ne dispose pas de données d'écotoxicité en milieu marin pour ces molécules.

On trouve également des **huiles de silicone**. Selon la fiche de données de sécurité d'Hempel, l'octaméthylcyclotétrasiloxane à une toxicité aiguë CE50 de 0.015 mg/l sur Daphnie et une toxicité chronique de 1.7 µg/l toujours sur daphnie en eau douce. Les huiles de silicone sont très faiblement biodégradables et pourraient avoir un potentiel de bioaccumulation élevé.

Les **acides gras saturés** peuvent être utilisés dans certaines peintures, ces molécules ne présentent, à priori, aucun risque pour l'environnement marin.

Le **cuivre** et le **zinc** sont utilisés pour leurs propriétés biocides dans les peintures antisalissures. Leur relargage maximum s'obtient au bout de 3 mois.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## TEST DE TOXICITÉ DES PRODUITS Suivi écotoxicologique

### TEST SUR CRUSTACÉS : *Artemia salina*

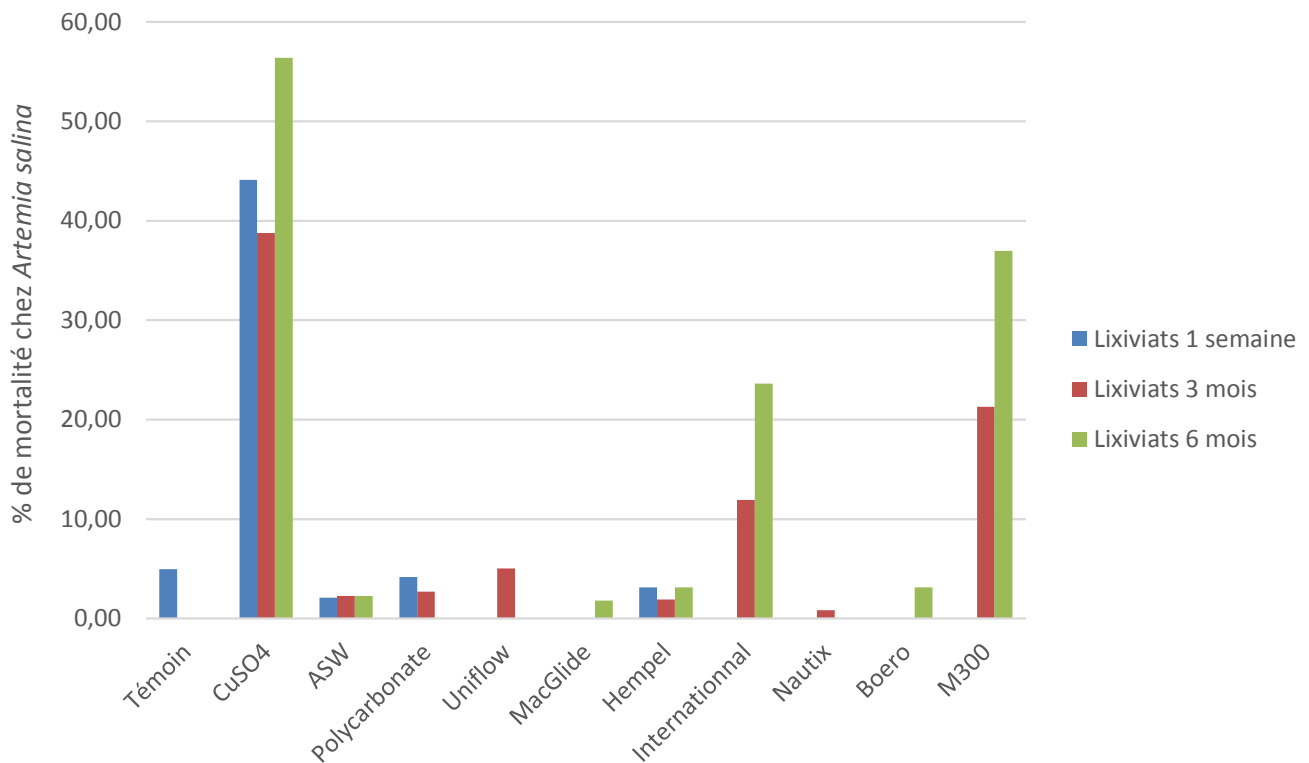
Les essais ont été menés sur  $80 \pm 10$  artemias (*Artemia salina*) mis en présence des lixiviats non dilués des différents revêtements antifouling après 1 semaine, 3 mois et 6 mois d'immersion.

Les pourcentages de mortalité après 24h et 48h d'exposition aux lixiviats sont reportés dans le tableau ci-dessous.



	% de mortalité (sur un total de 80 individus)					
	Lixiviation 1 semaine		Lixiviation 3 mois		Lixiviation 6 mois	
Echantillon	24h	48h	24h	48h	24h	48h
Témoin	3,90	4,94	4,21	4,21	4,21	4,21
Sulfate de cuivre	28,88	44,11	5,63	38,75	26,43	56,40
Eau de mer artificielle 1	0,00	0,00	0,00	12,50*	0,00	2,27
Eau de mer artificielle 2	4,17	0,00	0,00	2,27	0,00	2,27
Polycarbonate1	0,00	8,33	0,00	3,13	0,00	0,00
Polycarbonate 2	0,00	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00
Hempel 1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	6,25
Hempel 2	0,00	6,25	0,00	3,85	0,00	0,00
Uniflow 1	0,00	0,00	0,00	8,11	0,00	0,00
Uniflow 2	0,00	0,00	1,92	1,92	0,00	0,00
MacGlide 1	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	3,57
MacGlide 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
International 1	0,00	0,00	1,92	10,66	0,00	22,04
International 2	0,00	0,00	0,00	13,21	0,00	25,19
Nautix 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nautix 2	0,00	0,00	1,67	1,67	0,00	0,00
Boero 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25
Boero 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M300 1	0,00	0,00	2,78	27,78	0,00	28,70
M300 2	0,00	0,00	2,27	14,77	0,00	45,24
* Valeur écartée						

Observation de la mortalité chez *Artemia salina* exposé aux lixiviats de différentes solutions antifouling



Les essais sont validés au travers d'essais réalisés sur un témoin négatif (*artemia salina* sans présence de substances toxiques) et un témoin positif (en présence d'une substance toxique connue, le sulfate de cuivre). Pour être validé la toxicité du lot témoin doit être inférieure à 10% tandis que celle du toxique de référence doit être de 50%, + ou - 20 %. Les résultats obtenus permettent de valider les essais.

Afin de démontrer l'innocuité du milieu d'essai, l'eau de mer artificielle, ainsi que du matériau utilisé pour l'application des revêtements antifouling, le polycarbonate, des essais sont réalisés sur ces deux échantillons. Ces essais sont réalisés afin que la toxicité observée pour les lixiviats des revêtements antifouling soit bien attribuée aux molécules présentes dans les formulations et non dans l'eau de

mer ou le polycarbonate. La mortalité observée après soustraction de la valeur du témoin négatif montre une toxicité très faible. Ces résultats sont soustraits des valeurs issues des essais sur les revêtements antifouling afin d'obtenir les valeurs de toxicité associées.

Les résultats montrent une faible voire une absence de toxicité de la part des lixiviats après 1 semaine, 3 mois et 6 mois d'immersion. Seuls les échantillons « International » et « M300 » présentent une toxicité (de 20 à 40%) après 3 mois et 6 mois. La toxicité à 6 mois étant plus importante dans les deux cas.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

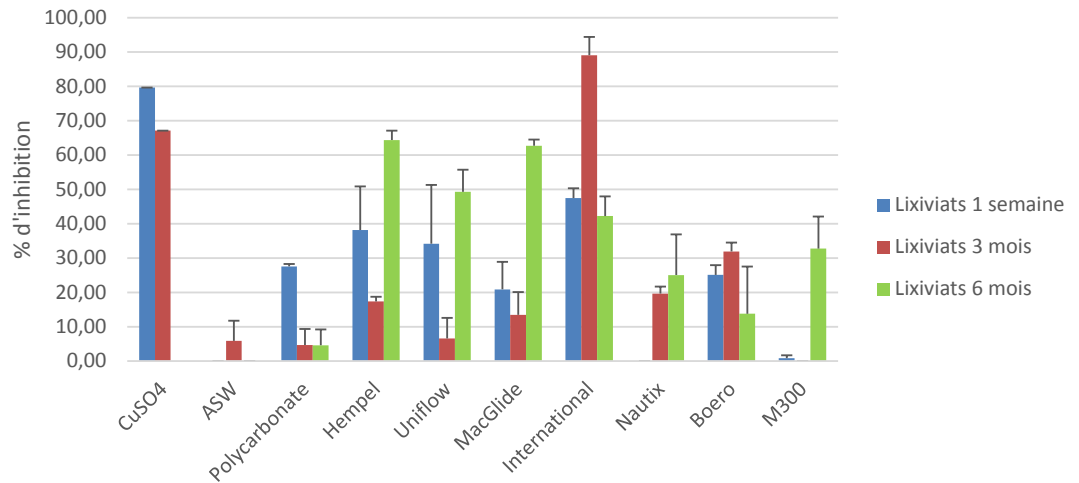
## TEST SUR MICRO-ALGUE : *Phaeodactylum tricornutum*

Cet essai repose sur l'inhibition de la croissance de la microalgue *Phaeodactylum tricornutum* en présence de substance d'essai, ici les lixiviats. Le facteur de croissance  $\mu$  du lot témoin (microalgue + milieu de croissance) doit être supérieur ou égal à 0,9 jour<sup>-1</sup>. Sur l'ensemble des essais le facteur est toujours supérieur à 0,9 j<sup>-1</sup> (tableau ci dessous). Le suivi des paramètres physico-chimiques (pH, T°C, oxygénation et luminosité) a été assuré tout au long des expérimentations et sont en accord avec les indications de la norme.



	% d'inhibition de croissance après 96h					
	Lixiviation 1 sem		Lixiviation 3 mois		Lixiviation 6 mois	
Echantillon	$\mu$	% Inhib	$\mu$	% Inhib	$\mu$	% Inhib
Témoin	1,19		0,97		1,04	
Sulfate de cuivre		79,66		67,11		67,11
Eau de mer artificielle 1		0,00		11,75		0,00
Eau de mer artificielle 2		0,00		0,00		0,00
Polycarbonate 1		26,89		0,00		0,00
Polycarbonate 2		28,27		9,34		9,21
Hempel 1		25,49		16,02		67,11
Hempel 2		50,87		18,73		61,66
Uniflow 1		17,07		0,58		55,73
Uniflow 2		51,30		12,57		42,84
MacGlide 1		28,89		6,83		60,91
MacGlide 2		12,89		20,09		64,52
International 1		50,32		94,41		47,96
International 2		44,59		83,74		36,50
Nautix 1		0,00		17,62		13,24
Nautix 2		0,00		21,69		36,90
Boero 1		22,23		34,51		27,53
Boero 2		27,93		29,35		0,00
M300 1		1,68		0,00		23,41
M300 2		0,00		0,00		42,09
Tableau relatif aux essais ecotox sur microalgue						

Inhibition de la croissance de *P. tricornutum* en présence des lixiviats des différents revêtements antifouling



De plus l'essai témoin réalisé sur le toxique de référence (CuSO<sub>4</sub>) présente une inhibition de croissance en accord avec la norme mais cependant dans la fourchette haute de l'intervalle. Ceci permet de mettre en avant une sensibilité plus importante de la microalgue lors des essais. Les résultats obtenus pour l'échantillon ASW (eau de mer artificielle utilisée lors des lixiviations) ne montrent pas de toxicité. En revanche, les essais réalisés sur le polycarbonate ne devraient pas montrer de toxicité (neutralité du support) or pour les lixiviats obtenu après 1 semaine nous observons une inhibition de croissance de 27% tandis qu'à 3 mois et 6 mois l'inhibition ne dépasse pas 5%. Cette inhibition pourrait-être expliquée par le relargage de substances par le polycarbonate (voir partie précédente). Bien qu'il soit considéré comme neutre il apparait que des substances sont relarguées (des essais supplémentaires permettraient de confirmer ce relargage par le polycarbonate de manière répétable). Il serait également important de vérifier la présence des molécules relarguées par le polycarbonate dans les autres échantillons car les revêtements étant appliqués directement sur la feuille de polycarbonate il est possible que cela inhibe ou limite son relargage.

### Lixiviats 1 semaine

Aux vues des écarts-types il apparait que la toxicité est similaire pour les revêtements de type silicone ainsi que Boero (≈20 %). International présente a priori la plus haute toxicité (47%) tandis que Nautix et M300 en sont exempt.

### Lixiviats 3 mois

Hormis pour l'échantillon International (≈90 % d'inhibition), les autres revêtements voient leur pourcentage d'inhibition de la croissance comprise entre 10 et 30%. De même qu'à 1 semaine, M300 ne présente pas de toxicité à 3 mois.

### Lixiviats 6 mois

On peut distinguer trois groupes lors des essais sur les échantillons à 6 mois. On retrouve le groupe des silicones dont l'inhibition de croissance de *Phaeodactylum tricornutum* est comprise entre 50 et 60 %. Le second groupe, composé des peintures International, Nautix et M300 voient leur toxicité comprise entre 25% et 40%. Enfin, la peinture Boero dont la toxicité est proche de 10% mais dont l'écart-type est relativement important. De nouveaux tests permettraient une confirmation.

### Conclusion

On observe de manière générale une toxicité plus faible à 3 mois qu'après 1 semaine et 6 mois excepté pour les peintures International et Boero. On note toutefois que les revêtements silicones présentent un profil de toxicité similaire. Il en va de même pour les peinture International et Boero.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## TEST SUR LARVES DE POISSONS : *Dicentrarchus labrax*

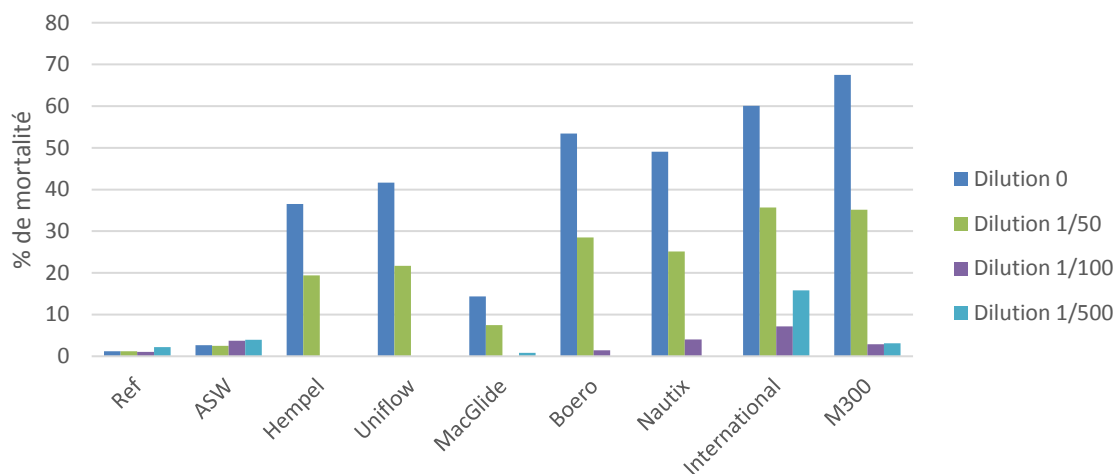
De même que pour les essais précédents il est important de valider celui-ci au travers d'essais sur un témoin négatif (larves inoculées dans un milieu composé d'eau de mer artificielle, ASW), un témoin positif (larves inoculées en présence de CuSO<sub>4</sub>) ainsi que le polycarbonate. Lors de tous ces essais, afin de montrer que le milieu n'impacte pas la survie des larves de bars il est nécessaire que la mortalité n'excède pas 10% dans le cadre des témoins négatifs et du polycarbonate et proche de 50% pour les essais sur le toxique de référence CuSO<sub>4</sub>.

Les résultats présents sur les graphiques (figures suivantes) montrent des taux de mortalité inférieurs à 10% pour les témoins validant ainsi en partie les analyses. La mortalité due à l'exposition au CuSO<sub>4</sub> est de 57,04% validant ainsi la sensibilité des organismes utilisés pour les essais.

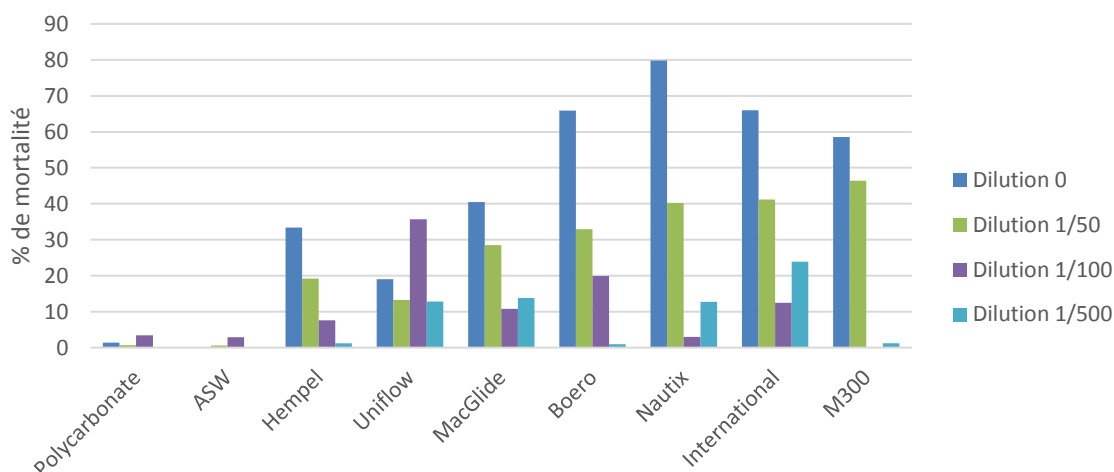
L'ensemble des résultats montrent une décroissance attendue de la toxicité avec le facteur de dilution des lixiviats.



% de mortalité des larves à 96h (1 semaine)

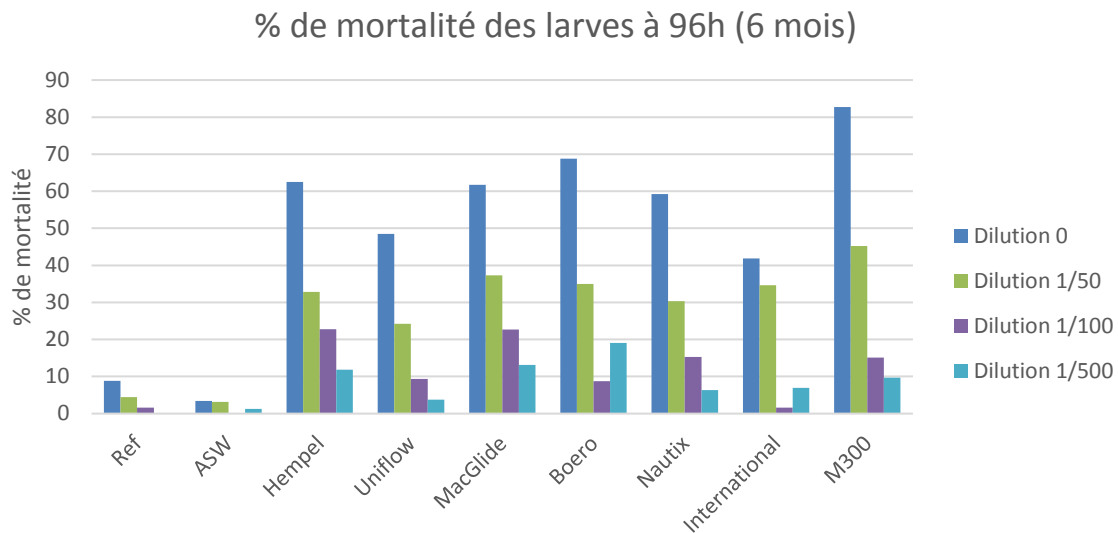


% de mortalité des larves à 96h (3 mois)



Les résultats montrent une toxicité que l'on peut répartir en trois groupes. Le premier dont la toxicité est inférieure à 20% (MacGlide), le deuxième présentant une toxicité comprise entre 20% et 40% (Hempel et Uniflow) et le dernier dont la toxicité est supérieure à 40% (Boero, Nautix, International et M300).

Il apparaît que les peintures/revêtements silicone présentent une plus faible toxicité après 1 semaine et 3 mois que les autres peintures.



Après 6 mois d'immersion, on observe une répartition des groupes de toxicité différente. International apparaît comme le revêtement le moins toxique

(≈40%) tandis que M300 présente la toxicité la plus élevée (>80%). Les autres solutions antifouling voient leur toxicité varier de 50% à 70%.

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## CONCLUSION ÉCOTOXICITÉ

La toxicité à l'encontre des crustacés *Artemia salina* a été évaluée de très faible (Hempel SilicOne, Uniflow, MacGlide, Nautix et Boero) à faible (M300 et International). Ces organismes semblent donc moins sensibles aux molécules émises par les revêtements lors des lixiviations réalisées.

La toxicité observée sur la microalgue *Phaeodactylum tricornutum* pour l'ensemble des revêtements semble corrélée avec l'efficacité observée lors des essais statiques in situ. En effet, les revêtements silicones Hempel SilicOne, Uniflow et MacGlide présentent une toxicité modérée à forte qui va de pair avec l'absence de microalgues à leur surface lors des observations sur site. En revanche, les solutions Boero, Nautix et M300 présente une toxicité faible mais ont vu leurs surfaces colonisées par des microalgues tout au long des deux saisons. La peinture International s'avère être la plus toxique sans pour autant présenter la meilleure efficacité contre ces microorganismes. La toxicité générale observée pour ce niveau trophique microalgal est plutôt en adéquation avec les observations faites sur site et avec le principe de fonctionnement même de ces peintures qui ont pour but de lutter contre la colonisation de ces microorganismes.

Enfin, le dernier niveau trophique testé, les larves de poisson (larves de bar *Dicentrarchus labrax*), montrent une toxicité qui est relativement élevée pour l'ensemble des revêtements.

Uniflow présente la toxicité la moins élevée (modérée) tandis que la peinture M300 impacte le plus le développement des larves (très forte toxicité). Il est important de noter que le choix de réaliser des essais sur un stade larvaire permet d'évaluer la toxicité de substances au niveau qui sera le plus impactant. En effet, les larves sont plus sensibles à la pollution qu'un individu adulte et ce sont ces larves qui conditionnent le maintien des générations futures.





# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## TYPE ET VOLUME DE DÉCHETS GÉNÉRÉS






En complément de l'efficacité et de la toxicité des techniques testées, il paraît important de pouvoir déterminer la quantité et le type de déchets générés par ces techniques. Il ne faut pas négliger cet impact environnemental dans l'évaluation des produits. En effet, certains composés peuvent être plus ou moins recyclables et certaines filières n'existent pas encore.

## BASE DE CALCUL DES VOLUMES DE DÉCHETS GÉNÉRÉS

Pour les peintures, le calcul a pour base une vedette de 6 m, soit une surface à peindre de 14,35 m<sup>2</sup>. La quantité de peinture est calculée en prenant en compte son pouvoir couvrant et sur la base d'une application de deux couches de peinture.

Ensuite le poids des déchets générés (pot de peinture en métal) est évalué sur une base d'un poids à vide de 300 g pour un pot de 2,5 l de 150 g pour un pot de 0,75 l et de 75 gr pour un pot de 0.35 l;

Bilan déchets :

Pas de filière de recyclage Et/ou poids de déchet > 50 kg	négatif	
Filière de recyclage déchets inertes et déchets dangereux Et/ou poids de déchet de < 10 kg	Assez bon	
Filière de recyclage déchets inertes et déchets dangereux Et/ou poids de déchet < 5 kg	Bon	
Filière de recyclage déchets inertes pour l'ensemble des déchets générés Et/ou poids de déchet > 5 kg	Très bon	
Filière de recyclage déchets inertes pour l'ensemble des déchets générés Et/ou poids de déchet < 5 kg	Très très bon	

## LAVAGE DE LA CARÈNE

Cette technique très simple consiste à nettoyer la carène du bateau régulièrement afin de contrôler et limiter le développement du fouling par une action mécanique.



Deux expérimentations ont été menées : le nettoyage de la carène avec un nettoyeur haute pression sur une cale ou une aire et le lavage avec une brosse adaptée à la carène : la brosse Lulu.

Pour le lavage des carènes exemptes de peinture à base de biocides, les déchets générés sont composés

des matières organiques enlevées lors du nettoyage.

Pour un nettoyeur haute pression pour particulier, le poids est d'environ 10 kg pour une durée de vie estimée à 10 ans. Les éléments à changer sont les buses et les tuyaux.

Ces déchets peuvent être déposés en déchetterie pour recyclage.

	nettoyeur haute pression	brosse Lulu
quantité	10 kg	0,06 m3 / 3 kg
type déchets	appareil électrique et tuyau et buse	1 brosse, 3 perches, sac de transport
filière de recyclage	déchetterie	déchetterie
Durée de vie	10 ans	5 ans
		


# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ULTRASONS

Le principe des ultrasons est de générer des sons faisant vibrer la couche d'eau contre la carène et entraînant ainsi des conditions défavorables à l'accroche du fouling. L'alimentation du système d'ultrasons peut être réalisée via le branchement électrique du ponton ou via des batteries, panneaux solaires ou éoliennes. Les transducteurs utilisés (de 1 à 2 en moyenne par bateau) sont composés d'une enveloppe plastique ain-

si que de composés électroniques. S'ils sont alimentés par le réseau électrique il faut compter les déchets générés par ce type d'alimentation. Sinon il faut rajouter une batterie, des panneaux solaires ou une éolienne.

Ces déchets peuvent être déposés en déchetterie pour recyclage.

quantité	15 kg
type déchets	plastiques et composés électroniques (1 à 2 transducteurs), batterie et/ou éolienne et/ou panneaux solaires ou alimentation électrique
filière de recyclage	déchetterie
Durée de vie	5 ans
	

## PEINTURE R&D NAUTIX

La peinture antifouling testée est issue du service Recherche & Développement de la société NAUTIX basée à Guidel (56) et non encore disponible à la vente. Elle est issue de leurs recherches visant à diminuer la quantité de biocides et de polymères dans les peintures mais également à mettre au point de nouveaux biocides moins impactants pour le milieu marin. La peinture testée est à base de polymères biodégradables.


Il faut prévoir une couche de primaire d'accrochage puis deux couches de peinture antifouling.

Si on se base sur une vedette de 6m, soit une surface à peindre de 14,35 m<sup>2</sup>, pour un pouvoir couvrant de 8,5 m<sup>2</sup>/L pour le primaire il faut 1,7 litre de primaire. Sachant que le conditionnement peut être en pots de 0,35L, 0.75L ou 2,5L, il faut 2 pots de 0.75L et 1 pot de

0.35L. En se basant sur un pouvoir couvrant de 10 m<sup>2</sup>/L pour la peinture et la nécessité de mettre 2 couches la 1ère année, il faut 2,87L de peinture soit 1 pot de 2.5L et 1 pot de 0.35L.

Le primaire et la peinture sont conditionnés en pots en métal. Pour mémoire, il faudrait également compter les pinceaux, rouleaux, bande de masquage, solvant de nettoyage... Il faudrait également comptabiliser le volume d'eau utilisé pour le carénage et l'utilisation d'un équipement adapté pour le traitement des eaux de carénage.

Les déchets peuvent être déposés en déchetterie pour recyclage dans une filière de traitement des déchets dangereux.

quantité	2 pots de 0,75 L + 1 pot de 0,35 L de primaire, 1 pot de 2,5 L + 1 pot de 0,35 L de peinture soit 750 kg de pots en métal à recycler
type déchets	pots en métal
filière de recyclage	déchetterie puis filière traitement déchets dangereux
Durée de vie	1 an
	

## PEINTURE M300


C'est une peinture à matrice dure (résine polyester) contenant une grande quantité de cuivre utilisé comme biocide. Elle est prévue pour durer 5 ans (données fournisseur) et permet ainsi de limiter le nombre de carénage.

Il faut appliquer obligatoirement un primaire époxy bi-composant puis utiliser le kit composé d'une résine à mélanger avec le cuivre. Un kit permet de recouvrir une zone de 5 m<sup>2</sup>. Un durcisseur MEKP est ensuite à intégrer au mélange résine + cuivre. La résine est conditionnée dans un pot en métal contenant 1 kg de

résine, le cuivre est dans un pot métallique de 1,25 kg et le durcisseur est dans un pot en plastique de contenance 20g.

Dans notre estimation, il faut couvrir une surface de 14,35 m<sup>2</sup> pour une vedette de 6 m. il faut donc 3 kits. Pour mémoire, il faudrait également compter les pincesaux, rouleaux, bande de masquage, solvant de nettoyage...

Ces déchets peuvent être déposés en déchetterie pour recyclage dans une filière de traitement des déchets dangereux.

quantité	3 pots de 1 kg de résine, 3 pots de 1,25 kg de cuivre, 3 flacons de 20 g de durcisseur soit 2 kg de pots en métal à recycler et 20 g de pot en plastique
type déchets	pots en métal et flacons plastique
filière de recyclage	déchetterie puis filière traitement déchets dangereux
Durée de vie	5 ans
	


## PEINTURE AU SILICONE HEMPEL

Le principe des peintures au silicone est différent des peintures antisalissures classiques car elles n'ont pas pour objectif de « tuer » le fouling sous l'action d'un biocide mais d'empêcher leur développement. En effet leur surface lisse et glissante n'est pas propice à l'accrochage des organismes marins et favorise l'auto nettoyage de la coque lors de la navigation.

Il est nécessaire de mettre une couche de Silic One Tiecoat avec un pouvoir couvrant de 10 m<sup>2</sup>/L et ensuite la couche de peinture Silic One au pouvoir couvrant de 6 m<sup>2</sup>/L (2 couches sont nécessaires la 1ère année).

Pour un bateau de 6 m<sup>2</sup> soit une surface à peindre de 14,35 m<sup>2</sup>, il faut 2 pots de 0.75 l de primaire et 7 pots de 0.75 l. Pour mémoire, il faudrait également compter les pinceaux, rouleaux, bande de masquage, solvant de nettoyage... Il faut prévoir l'enlèvement du revêtement silicone au bout des 5 ans (données fournisseur). Le poids de ce revêtement a été calculé sur la base d'une densité de 1.5 gr au cm<sup>2</sup>.

Ces déchets peuvent être déposés en déchetterie pour recyclage dans une filière de traitement des déchets dangereux.


quantité	2 pots de 0,75 L de Tiecoat, 7 pots de peinture soit 1,35 kg de pots en métal à recycler. Plus 6 kg de peinture silicone à enlever après 5 ans
type déchets	pots en métal, revêtement siliconé
filière de recyclage	déchetterie puis filière traitement déchets dangereux
Durée de vie	5 ans
	

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

## ADHÉSIF AU SILICONE UNIFLOW

Des adhésifs dont la surface est recouverte de silicone sont posés sur la carène. Leur surface lisse permet d'éliminer le fouling lors de la navigation et limite le développement du fouling sur la carène. Les adhésifs doivent être posés par du personnel qualifié.

Lors de la pose on utilise 14,35 m<sup>2</sup> de papier recouvrant la face collante des adhésifs et lors de la dépose on retire 14,35 m<sup>2</sup> d'adhésif recouvert de silicone. Le poids de déchets générés a été calculé sur la base d'une densité de 100 gr/m<sup>2</sup> pour le papier de protection et 500 gr m<sup>2</sup> pour l'adhésif.


quantité	14,35 m <sup>2</sup> d'adhésif et 14,35 m <sup>2</sup> de protection, soit 7,5 kg de plastique et 1,5 kg de papier plastifié
type déchets	papier de protection et plastique recouvert de silicone et de colle
filière de recyclage	inconnue
Durée de vie	5 ans
	

## ADHÉSIF AU SILICONE MACGLIDE

Les adhésifs n'ont pas de réel pouvoir antifouling mais l'aspect lisse de leur surface recouverte de silicone doit permettre de limiter l'accroche du fouling et doit faciliter le nettoyage de la carène à l'éponge ou à la brosse souple.

Lors de la pose on utilise 14,35 m<sup>2</sup> de papier recouvrant la face collante des adhésifs et lors de la dépose on retire 14,35 m<sup>2</sup> d'adhésif recouvert de silicone. Le poids de déchets générés a été calculé sur la base d'une densité de 100 gr/m<sup>2</sup> pour le papier de protection et 500 gr m<sup>2</sup> pour l'adhésif.

Il n'y a actuellement pas de filière de recyclage de ce type de déchets.


volume	14,35 m <sup>2</sup> d'adhésif et 14,35 m <sup>2</sup> de protection, soit 7,5 kg de plastique et 1,5 kg de papier plastifié
type déchets	papier de protection et plastique recouvert de silicone et de colle
filière de recyclage	inconnue
Durée de vie	5 ans
	

## PAREFOULING NAUTIC INNOVATION

La technique alternative testée est un parefouling qui se compose d'une bâche qui enveloppe la carène. Cette enveloppe crée des conditions défavorables pour le développement du fouling et permet une mortalité des espèces présentes.

La bâche utilisée est fabriquée à base de plastique souple avec une durée de vie minimale de 5 ans (données fournisseur). Pour un bateau de 6m, soit une bâche de 20 m<sup>2</sup> pour une densité de 700 g/m<sup>2</sup>, on obtient un poids de déchet estimé à 14 kg.

La bâche peut être déposée en déchetterie pour recyclage.

quantité	14 kg de bâche plastique
type déchets	bâche plastique recyclable
filière de recyclage	déchetterie
Durée de vie	5 ans
	

# LES ANTIFOULING ET LEURS ALTERNATIVES

CARACTERISTIQUES COMPARÉES DES ALTERNATIVES TESTÉES										
	Peinture			Autre			Peinture + silicone		Adhésif	
Marque référence	NAUTIX R&D	INTERNATIONAL ULTRA EU	BOREA ALTURA 619	Meto & Co M300	PARFOULING	Brosse Lulu	ULTRASON	HEMPEL SiCOne	UNIFLOW Siliikon Top	MACTAC Maglide
Type et descriptif fabricant	Antifouling Premium à matrice dure. Efficace en eau douce et eau de mer.	Antifouling exempt de poisons organostaniques et à haute teneur en sels de cuivre	Antifouling exempt de poisons organostaniques et à haute teneur en sels de cuivre	résine Polyester Hybride + ions cuivre pur à 99%	Protection souple, innovante et écologique pour les plaisanciers, fabriquée en PFX-Aqua un tissu film qui bloque tous les éléments nécessaires à la vie.	Brosse avec flotteur permettant de "coller" à la coque	Ultrasonic - SIECMI Ele	Peinture Silicone et hydrogel	Peinture Dutch Durable Coatings Néosil	Peinture silicone + film adhésif protecteur ou peinture sous marine adhésive
Application	rouleau/pinceau		rouleau/pinceau/pistolet	rouleau/pinceau/pistolet			Pose des émetteurs par spécialiste	rouleau/pinceau	rouleau/pinceau	film adhésif
Facilité d'application (1* à 5*)			****	****		****	*****	***	**	*
Nombre de couches		2	2	1				2		1
Rendement théorique	8m²/l	8m²/l						6m²/l	6,5m²/l	
Délai mise à l'eau (min<eau>maxl)	12h<eau<120j	1j<eau<30j		12h				1j<eau<30j		
Conditionnement	0,75l, 2,5l et 5l	0,75l et 2,5l				Sac env 10kg		0,75l et 2,25l	2,5l	En rouleaux 0,65m X25m
Conditions d'utilisation	T° 15 à 20°C	T° 15 à 20°C	T° 15 à 20°C	T° 15 à 20°C		Quand on veut	Petit emballage installation permanente	T° 15 à 20°C	T° 15 à 20°C	T° 15 à 20°C
Prix constaté	21€/m² pour deux couches	18€/m² pour deux couches + Anticorrosiva CR.		40€/m² avec primaire	de 600€ à 1300€ l'u.	300€ la brosse	location 100€/mois env, Achat ?	60€/m² avec primaire et sous couche	75€/m² avec préparation coque	130€/m²
Durée de vie estimée	12 mois	48 mois		60 mois	60 mois	à vie	pas de limite	60 mois	48 mois	60 mois

Dans notre comparatif nous avons uniquement compilé dans ce tableau les marques et produits que nous avons testés. Après deux saisons d'utilisation de test et d'analyse nous sommes en mesure d'émettre un avis. Il existe bien évidemment d'autres produits et systèmes mais nous avons testé ceux pour qui les marques ont souhaité et accepté de participer à cette étude. Entre temps d'autres produits sont apparus sur le marché en conséquence ce tableau n'est pas exhaustif. Le produit SEAWAX a été testé en début d'expérimentation puis retiré faute de résultats probants. L'entreprise a cessé ses activités en septembre 2015.



# SYNTHÈSE & CONCLUSIONS

## AVIS DES PLAISANCIERS

À la fin de cette expérimentation nous avons recueilli l'avis des professionnels et plaisanciers volontaires qui nous ont accompagnés pendant ces deux années.

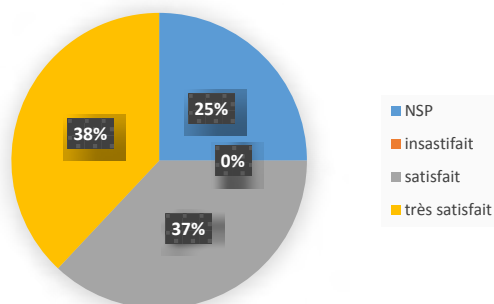
Nous les avons interrogés tant sur le déroulé de l'expérimentation que sur le ressenti de praticité et d'efficacité des produits.

Nous avons également questionné ces partenaires sur leur type de navigation, la fréquence de leur sortie etc...

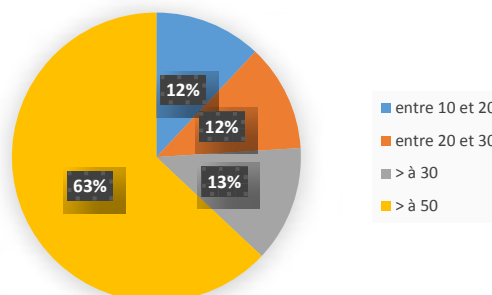
Ces échanges toujours sincères, parfois rugueux sont riches d'enseignement.

L'échantillonnage réduit qui correspond à la fois au besoin de l'étude et au nombre de volontaires ne permet pas de tirer des conclusions particulières mais donne malgré tout une idée de la perception qu'ont ces plaisanciers des produits testés, de la nature de leur pratique et de l'impact de leur activité sur les océans.

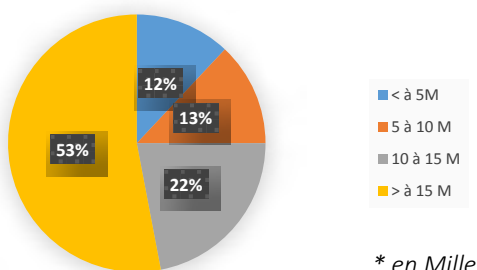
### Avis sur l'expérimentation



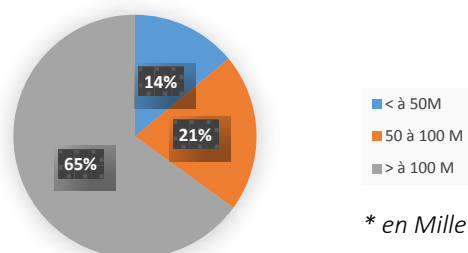
### Sorties en mer en 2017



### Distance parcourue par sortie



### Distance parcourue pendant l'année



Les plaisanciers étaient également satisfaits des produits testés sur leur bateau, à la fois par leur côté innovant et leur efficacité.

Des réserves ont toutefois été émises à propos de « Seawax ».

De manière générale, l'impact négatif des antifouling sur le milieu marin a plutôt été une découverte. La bonne foi, « le produit est vendu donc c'est bon » a prévalu. Les échanges multiples tant avec les fabricants, qu'entre usagers et avec les agents du PNMI ont fait prendre conscience de l'impact de ces dispositifs sur les océans.

À l'issue de ces tests si la plupart du temps le zéro

dispositif antifouling n'est pas plébiscité car jugé trop contraignant par les plaisanciers, les dispositifs sans ou avec très peu de biocides suscitent un intérêt certain.

A noter que de manière générale les nouveaux dispositifs nécessitent un entretien plus régulier que les peintures classiques à base de biocides ce qui peut constituer un frein à leur usage.

Autre point intéressant les plaisanciers testeurs ainsi que les professionnels ont été des prescripteurs tant de la démarche que des produits utilisés ce qui démontre leur prise de conscience et leur volonté d'encourager de nouveaux comportements.

# SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

## LA SUITE – LES NOUVEAUX PRODUITS

**La présentation de ces produits est issue  
des documents commerciaux des fabricants**

Pendant la durée de l'étude les industriels et laboratoires ont continué de travailler et d'innover. Certains nouveaux produits ont attiré notre attention par leur originalité.

Nous n'avons pas d'avis particulier sur ces nouveaux systèmes car non testés dans le cadre de l'étude.

Ils méritent sûrement d'être observés dans les mois qui viennent.

**Finsulate®**  
*Keeps fouling at a distance*



**NaviSale**

« Au cours des dernières années de commercialisation des films antisalissure, Finsulate s'est rendu compte qu'il n'existe pas de solution parfaite au problème de l'encrassement. La clé de son succès est que Finsulate

n'essaie pas de tuer les organismes, mais simplement de les garder à distance : les fibres empêchent les organismes d'atteindre la coque du navire. »



Le Finsulate est une barrière physique contre la croissance marine. Le Finsulate n'est pas une peinture mais un film auto-adhésif qui s'applique sur la coque d'un

bateau. L'utilisation de fibres courtes spécifiques permet d'éviter le tassement de l'encrassement. »

[www.finsulate.com](http://www.finsulate.com)

# International AWLGRIP

« Le groupe néerlandais Akzo Nobel vient d'annoncer le développement d'une nouvelle méthode pour lutter contre le développement des organismes marins sur les coques et les structures immergées. Cette technique, qui pourrait révolutionner le secteur, consiste à remplacer l'antifouling traditionnel par un film intégrant des diodes émettant de la lumière dans le spectre ultraviolet. L'utilisation des lampes à UV est bien connue pour la stérilisation de matériel dans les milieux industriels et sanitaires. »

« Pour le développement de sa solution antifouling par UV, Akzo Nobel s'est associé à l'industriel Philips. Les connaissances technologiques et le portefeuille de brevets du spécialiste de l'électronique et des Led UV, sont un atout clef du programme de recherche. »

[www.akzonobel.com](http://www.akzonobel.com)



Comparaison de fouling avec la solution UV d'Akzo Nobel et Philips



« Naviclean vous propose un service régulier de carénage à flot qui maintient les performances de glisse de votre bateau sans recours à un antifouling toxique.

Ce service est disponible tout au long de la saison de plaisance.

Vous présentez votre bateau à la station de brossage flottante. Vous êtes pris en charge par l'opérateur et suivez paisiblement ses instructions. Une fois votre bateau amarré au treuil et le moteur éteint, l'opérateur Naviclean s'occupe du nettoyage de votre carène. Votre bateau est rapidement nettoyé par l'action des brosses rotatives. Les finitions sont accomplies par l'opérateur à l'aide d'un jet haute pression ou d'une brosse manuelle. Votre bateau est finalement libéré

du treuil. Vous pouvez redémarrer le moteur et naviguer de nouveau, propre et l'esprit tranquille ».



# SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

MIRAPAKON™

LE SEUL ANTIFOULING-FOULING RELEASE SANS BIOCIDES. ÉCONOMIQUE, TRANSPARENT ET FACILE D'APPLICATION, IL ADHÈRE À TOUTES LES SURFACES.

« Nos peintures antisalissure de type Fouling Release et Antifouling sont sans biocides et non toxiques. Elles protègent les coques de bateaux et autres parties immergées contre les dommages de l'eau. Respectueux de l'environnement, nos produits n'entraînent aucun relargage de contaminants dans l'environnement ma-

rin. En formant une mince couche hydrophobe qui prévient la formation d'un biofilm, le MIRAPAKON MK300 permet de créer une barrière contre les dommages de l'eau ainsi qu'une surface très lisse et glissante sur laquelle les micro-organismes et les salissures n'ont pas de prise. Contrairement à la plupart des produits sur le marché, ces petites gouttes transparentes ne contiennent pas de biocides ni de silicone. »

[www.mirapakon.com](http://www.mirapakon.com)

# SYNTHESE ET CONCLUSION DE L'ÉTUDE

## Constats :

L'analyse de la réglementation au niveau national et européen a montré une prise en compte de plus en plus importante des impacts potentiels des produits contre le fouling sur les milieux marins. Même si la réglementation est de plus en plus restrictive les produits utilisés ne sont généralement pas anodins pour les organismes marins. Par ailleurs, les «fiches produits» des fabricants ne sont pas toujours complètes ni précises sur la description des molécules présentes dans les produits dès lors que ces molécules ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique.

## Résultats :

En rassemblant diverses expertises techniques, scientifiques et d'ingénieries adossées à des praticiens de la plaisance, professionnels ou non, pour établir le protocole de l'étude nous avons rendu cette expérimentation crédible.

Le fait de l'avoir inscrite dans la durée en menant de front des travaux de laboratoire et des sorties en mer a certes complexifié notre tâche mais les résultats obtenus sont à la hauteur de nos attentes pour ce premier travail.

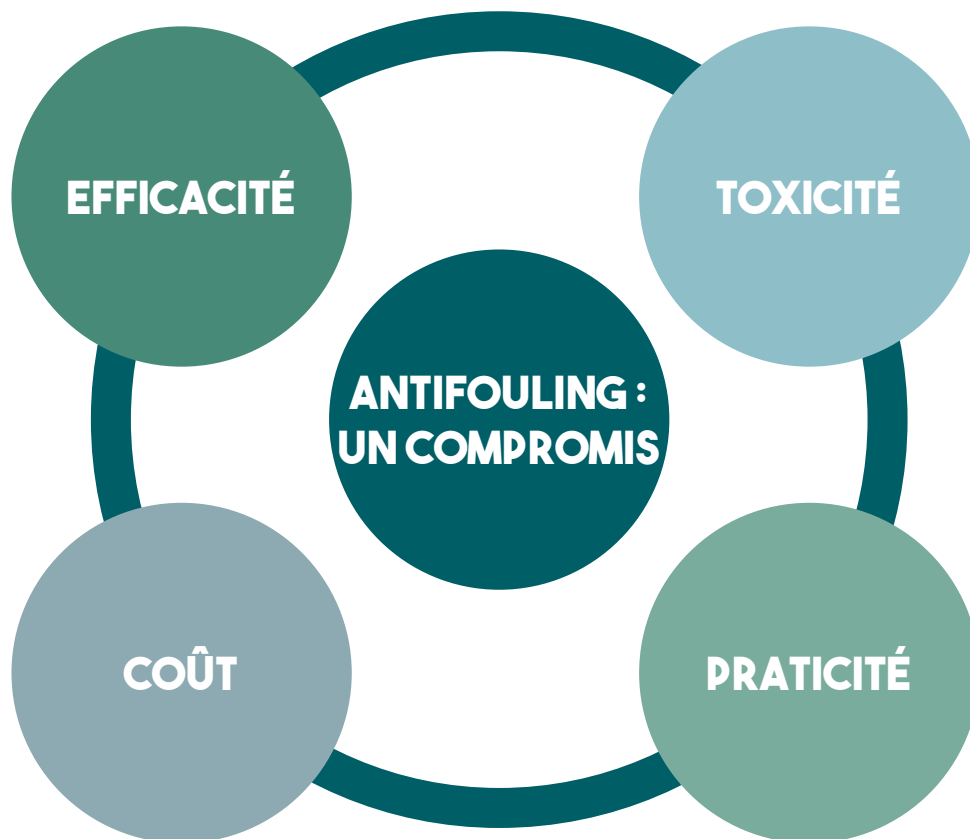
Dans le cas d'une poursuite ou reconduction de ce genre d'expérience il faudra être encore plus rigoureux sur le suivi et la pérennité des tests.

Après étude et analyse des quatre grandes familles de dispositifs étudiés (procédé mécanique, peinture avec biocides, peinture « release » et adhésifs) il ressort que chaque dispositif a des avantages et des inconvénients mais que mis à part les procédés mécaniques sur coque nue aucun dispositif est inoffensif pour la faune et la flore.

Le produit retenu par le plaisancier sera fonction du niveau de compromis que chacun voudra bien prendre en compte entre efficacité, praticité, toxicité et coût.

# SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Une équation difficile à résoudre...



Les industriels, sensibles à l'environnement et poussés par une réglementation plus exigeante se sont approprié le sujet et ne doutons pas qu'ils trouveront des solutions, dans un premier temps moins impactantes pour l'environnement et dans un temps plus lointain des dispositifs totalement respectueux de l'environnement.

Il conviendrait également de chercher et développer des solutions mécaniques, efficaces et simples d'usage pour le plaisancier, permettant de laver les bateaux exempts de tout revêtement à l'instar des stations de lavage de voiture.

Cela implique très certainement une adaptation des infrastructures portuaires qui pour l'instant ne proposent que des solutions permettant de récupérer les pollutions organiques et chimiques.



### Perspectives :

Il apparaît donc utile et nécessaire de mieux informer les plaisanciers sur l'impact potentiel de leur activité sur le milieu et leur fournir les clés pour décider de la meilleure solution antifouling en fonction de leur activité.

D'autres solutions «antifouling» se développent et mériteraient probablement des tests complémentaires.

Des questionnements sur la santé humaine demeurent lors des phases de ponçage et/ou d'application des dispositifs.

Ce point mériterait une expertise particulière.





# ANNEXES

# ANNEXES



# SOMMAIRE

<b>1. PHOTO INTERPRÉTATION</b>	<b>98</b>
<b>2. LAVAGE DE LA CARÈNE</b>	<b>100</b>
<b>3. ULTRASONS</b>	<b>106</b>
<b>4. PEINTURE R &amp; D NAUTIX</b>	<b>111</b>
<b>5. PEINTURE SEAWAX</b>	<b>116</b>
<b>6. PEINTURE M300</b>	<b>118</b>
<b>7. PEINTURE SILICONE HEMPEL</b>	<b>123</b>
<b>8. ADHÉSIF UNIFLOW SILIKONE TOP</b>	<b>127</b>
<b>9. ADHÉSIF AU SILICONE MAC GLIDE</b>	<b>131</b>
<b>10. PAREFOULING NAUTIC INNOVATION</b>	<b>134</b>
<b>ANNEXE 1 : FICHE APPLICATION PEINTURE</b>	<b>139</b>
<b>ANNEXE 2 : FICHE PRISE DE VUE</b>	<b>140</b>

## PHOTO INTERPRÉTATION

Les premiers suivis ont débuté en mai 2016 jusqu'en octobre 2016 avec une fréquence mensuelle sous réserve de la présence du bateau à son emplacement. Une vidéo complémentaire a été réalisée en janvier 2017 pour voir l'état des carènes en période hivernale. Puis le suivi a repris en avril 2017 jusqu'en septembre – octobre 2017 pour la seconde saison de navigation.

Les sites suivis pour Finistère 360° sont les ports de Douarnenez (Port Rhu et Tréboul) et du Conquet.

Les techniques alternatives testées sont les suivantes :

- Lavage régulier au nettoyeur haute pression : 1 bateau au Conquet,
- Lavage régulier avec la brosse Lulu : 2 bateaux à Douarnenez,
- Ultrasons : 3 bateaux à Douarnenez,
- Peinture R&D Nautix : 2 bateaux à Douarnenez, 1 bateau au Conquet,
- Peinture Seawax : 2 bateaux au Conquet,
- Peinture au Cuivre M300 : 2 bateaux à Douarnenez
- Peinture au silicone Hempel : 2 bateaux à Douarnenez,
- Adhésifs au silicone Uniflow : 1 bateau à Douarnenez,
- Adhésifs au silicone R&D GSDI : 1 bateau à Douarnenez,
- Parefouling Nautic Innovation : 1 bateau à Douarnenez,

Le présent rapport présente une synthèse des suivis ainsi que les fiches bilans. Les rapports complets décrivant l'efficacité de chaque technique testée sont présentés sous forme d'annexes.

<b>GRILLE DE CLASSEMENT</b>	<i>Pour chaque technique testée nous avons évalué son coût de mise en œuvre.</i>
-----------------------------	--

### Coût
















*La référence est une vedette de 6m de longueur pour 14,35m<sup>2</sup> de surface de carène à traiter*

Critère	notation	codification
< 500 €		€
500 à 1 000 €		€ €
1 000 à 1 500 €		€ € €
1 500 à 2 000 €		€ € € €
> 2 000 €		€ € € € €

## GRILLES DE CLASSEMENTS
















Pour chaque technique testée l'efficacité et l'impact potentiel sur le milieu ( relargage et toxicité) ont été évalués et regroupés en 5 classes pour chacun des critères : Efficacité / Relargage molécules / Toxicité

### Efficacité

Critère	notation	codification
Espèces encroûtantes sur plus de 50% de la carène Algues de plusieurs dizaines de cm	Très peu efficace	
Espèces encroûtantes sur moins de 50 % de la carène Algues de quelques cm	Peu efficace	 
Quelques espèces encroûtantes en amas dispersés Film d'algues sur la carène	Efficace	  
Pas d'espèces encroûtantes Film d'algues sur la carène	Bonne efficacité	   
Carène exempte de fouling	Très bonne efficacité	    
















### Relargage

Le nombre de molécules entre les 3 prélèvements (1 semaine, 3 mois et 6 mois) a été additionné afin de classer les revêtements testés en fonction de leur potentiel de relargage.

Critère	notation	codification
0 molécule	Pas de relargage	
1 à 15 molécules	Peu de relargage	 
16 à 30 molécules	Relargage modéré	  
31 à 50 molécules	Relargage fort	   
Plus de 50 molécules	Relargage très fort	    

### Toxicité

Afin de simplifier l'analyse des données, le classement est établi par rapport à la toxicité observée sur l'échantillon brut (sans dilution). Le classement tient en compte le % d'inhibition/mortalité maximal observé (0% à 100%) parmi les différents échantillons (1 semaine, 3 mois et 6 mois)

Critère	notation	codification
< 20%	Très faible toxicité	
20% - 40%	Faible toxicité	 
40% - 60 %	Toxicité modérée	  
60% - 80%	Forte toxicité	   
> 80%	Très forte toxicité	    

## LAVAGE DE LA CARÈNE

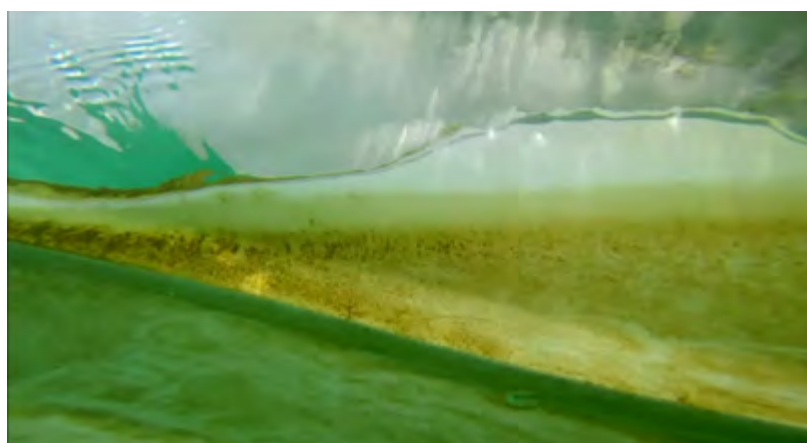
Cette technique très simple consiste à nettoyer la carène du bateau régulièrement afin de contrôler et limiter le développement du fouling par une action mécanique.

Deux expérimentations ont été menées : le nettoyage de la carène avec un nettoyeur haute pression sur une cale ou une aire et le lavage avec une brosse adaptée à la carène : la brosse Lulu.

### ➤ Lavage régulier au nettoyeur haute pression : 1 bateau au Conquet.

Le bateau suivi pour cette expérimentation est une vedette semi-rigide de 10 m, propriété de la société Archipel Evasion qui propose des excursions nature et patrimoine au cœur du Parc naturel marin d'Iroise. Les sorties sont quasi journalières sur la période d'avril à octobre et ont été estimées à 100 sorties durant notre étude.

Le suivi a duré cinq mois sur la période de mai à septembre avec des nettoyages bimensuels de la carène.



Après cinq mois de test, le nettoyage de la coque deux fois par mois permet de limiter le développement du fouling avec uniquement un biofilm composé exclusivement de micro-algues. On note l'absence de patelles, d'éponges, d'ascidies...



## NETTOYEUR HAUTE PRESSION

Il s'agit de nettoyer, à fréquence régulière, la carène du bateau afin de limiter le développement du fouling. Dans notre étude, le bateau a été nettoyé deux fois par mois au nettoyeur haute pression.



### AVANTAGES

- 👍 Pas de colonisation autre qu'algale du fait du nettoyage à fréquence rapprochée.
- 👍 Pas de biocides sur la coque donc pas d'impact sur l'environnement.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Bateau à sortir de l'eau deux fois par mois.
- 👎 Demande beaucoup de temps.

### LIMITES

- 👉 Avoir la possibilité technique de sortir le bateau de l'eau.
- 👉 Avoir un branchement électrique.
- 👉 Peut être utilisé en complément d'une autre technique alternative.

Site internet  
néant

## ➤ Lavage régulier avec la brosse Lulu : 2 bateaux à Douarnenez

Tout comme l'exemple précédent, il s'agit ici de tester le nettoyage de la carène sous l'action d'une brosse souple appelée brosse Lulu.



### • Voilier Expresso à Douarnenez :

Un des bateaux tests est un voilier sur ponton au port Rhu à Douarnenez. L'activité principale du plaisancier est la navigation de promenade et croisière avec un nombre de sorties équivalent à 25 jours sur la période de mai à début octobre.

La coque recouverte de l'ancienne peinture antifouling a été nettoyée et décapée au tampon récurant. La quille a été recouverte d'une couche d'antirouille. Le tout a nécessité 4 jours d'immobilisation du bateau. Le bateau a été remis à l'eau le 14 avril 2016.

La technique utilisée par le plaisancier est la brosse Lulu. La carène a été nettoyée environ une fois par mois les 16 mai, 5 juin, 19 juin, 23 juillet, 18 septembre et 2 octobre. Le bateau a

### ***Bilan saison 2016 :***

Après cinq mois de test, le constat est que des algues vertes et brunes se sont développées au niveau de la ligne de flottaison surtout à l'avant. Des algues brunes sont présentes sur la quasi-totalité de la carène et des amas de vers tubicoles se développent principalement en partie basse de la carène.



### ***Bilan saison 2017 :***

Après deux saisons de test, on note la présence d'algues vertes au niveau de la ligne de flottaison, d'un film d'algues brunes sur la quasi totalité de la carène et de balanes et vers tubicoles en amas dispersés. Des traces de passage de la brosse Lulu sont visibles par endroit montrant que le brossage n'est pas réalisé sur l'ensemble de la carène. Il manque un visuel lors du passage de la brosse, ce qui est également déploré par le plaisancier. Un kit existe permettant de fixer une caméra sur la brosse avec un visuel sur le manche

• **Voilier Kawenn à Douarnenez :**

Le bateau test est un voilier de régates propriété de l'association Winches Club qui a pour vocation principale de former des plaisanciers à la régates et à la croisière.

La carène a été recouverte d'une peinture antifouling en 2015. Un nettoyage de la coque au nettoyeur haute pression a été réalisé début avril 2016 avant la mise à l'eau du voilier.

La brosse Lulu a été passée régulièrement (tous les 15 jours) entre début avril et fin mai. Le bateau a été sorti de l'eau de fin mai (ou mi-juin) à début septembre. La remise à l'eau a eu lieu le 8 septembre après un carénage au nettoyeur haute pression et ponçage de la carène au grain 180.

7 sorties de loisir et entraînement ont été effectuées entre début avril et fin mai 2016.



**Bilan saison 2016 :**

Le nettoyage régulier avec la brosse Lulu semble permettre de limiter le développement du fouling aux algues. On ne constate pas la présence d'espèces telles que les balanes, les éponges, les bryozoaires ou encore les ascidies.



**Bilan saison 2017 :**

Le bilan est plus satisfaisant que lors de la 1ère saison de navigation. Le développement algal est très limité, quelques algues vertes sont visibles au niveau de la ligne de flottaison.

## LA BROSSE LULU

Il s'agit de nettoyer, à fréquence régulière, la carène du bateau afin de limiter le développement du fouling. Dans notre étude, le bateau a été nettoyé deux fois par mois au nettoyeur haute pression.



### AVANTAGES

- 👍 Limite l'apparition des espèces encroûtantes avec un lavage une à deux fois par mois.
  - 👍 Seules les algues se développent.
  - 👍 Limite l'utilisation de peinture antifouling.
- 👍 Nettoyage réalisé à flot sur ponton ou mouillage.
  - 👍 Faible encombrement.
- 👍 Possibilité de changer uniquement la brosse.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Nécessite plusieurs lavages de la carène durant la saison.
  - 👎 Demande du temps.
- 👎 Passage inégal de la brosse sur la carène.




### LIMITES

- 👉 Absence de visuel des endroits nettoyés : une version existe avec une caméra sur la brosse et un écran de contrôle à fixer sur le manche.
  - 👉 La brosse est conçue pour être utilisée en complément peinture antifouling classique ou d'une autre peinture alternative.



Site internet  
<https://labrosselulu.fr/>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

navires test	Archipel	Kawen	Expresso
	Day Boat Le conquet	Voilier DZ	Voilier DZ
	2016	2016- 2017	2016- 2017
<b>EFFICACITE</b>			
algues	oui	oui	oui
espèces encroûtantes	non	non	un peu
Efficacité/bateau			
remarques	nettoyeur haute pression	Lulu	Lulu

### Par technique

<b>Efficacité</b>	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
	Non évalué
<b>Relargage de molécules</b>	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	Non évalué
<b>Coût</b>	Toxicité larve de poisson (bar)
€	Non évalué

## ULTRASONS

Le principe des ultrasons est de générer des sons faisant vibrer la couche d'eau contre la carène et entraînant ainsi des conditions défavorables à l'accroche du

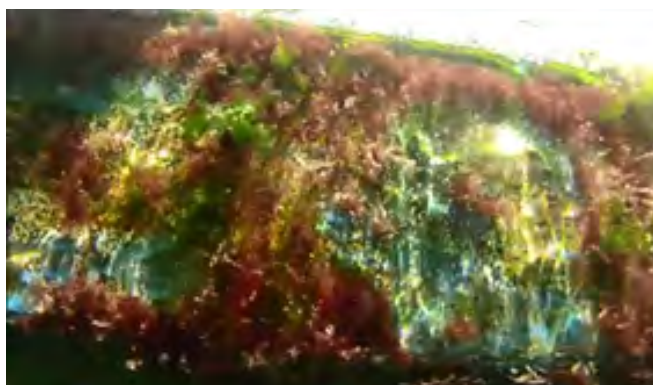
fouling. L'alimentation du système d'ultrasons peut être réalisée via le branchement électrique du ponton ou via des batteries, panneaux solaires ou éoliennes.

### ➤ Ultrasons : 3 bateaux à Douarnenez,

#### • Vedette à Douarnenez :

Le bateau suivi est une vedette Antares 980 sur ponton au port de Tréboul. Il appartient à Mr Kerdoncuff gérant de la société Iroise Découvertes dont le but est, notamment, de faire découvrir le Parc naturel marin d'Iroise via des excursions en mer à destination des particuliers ou des entreprises. Le bateau a effectué entre 10 et 25 sorties par mois entre avril et septembre 2016, principalement dans la baie de Douarnenez.

Le bateau a été équipé d'un système d'ultrasons de la société électroclean le 5 avril 2016. L'antifouling précédent avait été appliqué en septembre 2015.



#### **Bilan saison 2016 :**

Après cinq mois de test, la ligne de flottaison est fortement colonisée par les macroalgues, surtout sur l'avant de la carène. La carène présente un biofilm algal sur l'ensemble de sa surface mais également des balanes en amas. Le bateau a dû être nettoyé et caréné, le propriétaire insatisfait des résultats des ultrasons a réalisé un carénage et a remis une peinture antifouling classique sur son bateau.



• **Voilier à Douarnenez :**

Le bateau test est un voilier Jeanneau Sun Fast 32 de 9,35 m conçu pour la croisière et la régates. Il appartient à l'association Winches Club basée à Douarnenez. Le bateau a été caréné le 5 avril 2016, la coque a été nettoyée, dégraissée et poncée au grain 180. Les ultrasons de la société électroclean ont été posés.

D'avril à septembre, le nombre de sortie pour des activités de loisir et de formation a été estimé à 25 et 20 sorties pour des activités de croisière. La brosse Lulu a été passée régulièrement sur la coque et un nouveau carénage a été réalisé en septembre.



***Bilan saison 2016 :***

Après plus de cinq mois de test des ultrasons, l'avant de la carène est quasiment entièrement colonisé par des algues de plusieurs dizaines de cm de long. Sur l'arrière et le dessous de la carène on retrouve un biofilm algal ainsi que des vers tubicoles et des espèces encroûtantes. Le test montre l'inefficacité des ultrasons sur une coque sans peinture antifouling.

***Bilan saison 2017 :***

La carène est relativement propre avec un développement du fouling limité aux algues vertes et brunes et l'absence d'espèces encroûtantes. Cependant cela ne reflète pas de l'efficacité des ultrasons seuls étant donné qu'il y a eu un lavage régulier de la carène.

- **Vedette à Douarnenez :**

Le bateau en test est une vedette appartenant au Parc naturel marin d'Iroise basé à Douarnenez. Il s'agit d'une coque en aluminium contrairement aux autres bateaux tests qui possédaient une coque composite.

Les ultrasons ont été posés en 2016 et le bateau a été remis à l'eau en octobre 2016.



***Bilan saison 2017 :***

Après une saison de suivi, la carène est recouverte d'un tapis d'algues d'un à deux cm de long. L'efficacité des ultrasons est bonne, la présence de longues algues, d'espèces encroûtantes et de mollusques sur la partie arrière de la carène est liée à l'absence d'ultrasons sur cette partie de la carène.



## ULTRASONS

Le principe des ultrasons est de créer des vibrations entre l'eau et la carène pour que les organismes marins ne puissent pas s'accrocher.

### AVANTAGES

- 👍 Pas de carénage annuel.
- 👍 Fait durer l'antifouling plus longtemps (2 à 3 saisons d'après les dires du fabricant).
- 👍 Efficace surtout sur coque aluminium avec développement algal et pas d'espèces encroûtantes

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Doit être installé par un professionnel.
- 👎 Nécessite un branchement électrique.
- 👎 Doit être utilisé en complément d'une peinture antifouling classique.

### LIMITES

- 👉 Il faut conserver une peinture antifouling sur la coque.
- 👉 L'efficacité n'a pas été démontrée sur trois des quatre bateaux en tests. Les algues et parfois les espèces encroûtantes se sont progressivement développées. Et des nettoyages de la carène ont été réalisés en parallèle.
- 👉 Nature de la coque : plutôt efficace sur coque alu et pas sur coque PVC.
- 👉 Quel impact des ultrasons sur les mammifères marins ?

### Site internet





<http://www.navicom.fr/actualites/emetteur-a-ultrasons-electroclean>

<http://www.harsonic.com/>






# ANNEXES

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	Parenthèse	Altaïr	Startjen
	Vedette DZ	Voilier DZ	Semi-rigide DZ
	composite	composite	Alu
	2016 - 2017	2016 - 2017	2017
<b>EFFICACITE</b>			
algues	oui	oui	oui
espèces encroûtantes	oui	oui	non
Efficacité/bateau			 
remarques	nettoyage coque + antifouling refait	nettoyage coque	

### Par technique

<b><i>Ultrasons sur coque composite</i></b>	
Efficacité	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
	Non évalué
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	Non évalué
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ €	Non évalué
<b><i>Ultrasons sur coque alu</i></b>	
Efficacité	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
 	Non évalué
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	Non évalué
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ €	Non évalué

## PEINTURE R&D NAUTIX

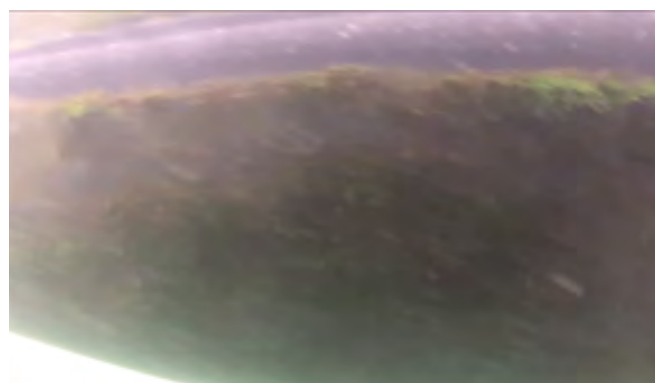
### ➤ Peinture R&D Nautix : 2 bateaux à Douarnenez, 1 bateau au Conquet,

La peinture antifouling testée est issue du service Recherche & Développement de la société NAUTIX basée à Guidel (56) et non encore disponible à la vente. Elle est issue de leurs recherches visant à diminuer la quantité de biocides et de polymères dans les peintures mais également à mettre au point de nouveaux biocides moins impactants pour le milieu marin. La peinture testée est à base de polymères biodégradables.

#### • Voilier à Douarnenez :

Le bateau test est un voilier BONGO 9.60 conçu pour la croisière rapide. Il appartient à la société Voile Horizons qui propose des sorties en mer et de la location de voiliers sur Douarnenez. Le type de sorties réalisées par le voilier est lié à des activités de promenade, de formation ou de croisière. 135 sorties en mer ont été réalisées entre mars et décembre 2016.

La carène a été nettoyée une fois par mois.



#### **Bilan saison 2016 :**

La peinture Nautix couplée au nettoyage régulier de la carène semble efficace pour limiter la présence de balanes ou autres espèces encroûtantes. Les espèces majoritaires sont les algues brunes et vertes qui recouvrent la carène. Les zones les plus impactées sont les zones comme la ligne de flottaison soumises au rayonnement lumineux.

Voilier non suivi en 2017.

## • Caravelle à Douarnenez :

Le voilier suivi est une caravelle de 4,65 m appartenant au Centre Nautique de Douarnenez.

Le test a porté sur une peinture à base de polymères biodégradables issue du service Recherche & Développement de la société NAUTIX. La coque a été repeinte le 20 mars 2016 avec deux couches de peinture.

Le bateau a effectué environ 30 sorties.



### ***Bilan saison 2016 :***

Les sept mois de test en 2016 ont permis de montrer une certaine inefficacité de la peinture vis-à-vis notamment du développement des balanes et des algues brunes. Le puits de dérive et la bande molle sont les endroits les plus colonisés par le fouling avec des espèces d'algues mais également des éponges et des ascidies. Mis à part les balanes, les autres espèces encroûtantes ne se sont pas développées sur la carène.



### ***Bilan saison 2017 :***

Contrairement à la première saison, les éponges et ascidies ne se sont pas installées sur la bande molle en 2017. Les algues vertes et brunes sont principalement présentes au niveau de la ligne de flottaison et les balanes sur le reste de la carène.

• **Vedette au Conquet :**

Le bateau suivi est une vedette de 6.25 m appartenant à un plaisancier du port du Conquet.

Le bateau a été sorti de l'eau et nettoyé à l'automne 2015. Il a été repeint avec une peinture à base de polymères biodégradables issue du service R&D de la société NAUTIX et remis à l'eau le 06 juin 2016.

Le bateau a été vendu par le plaisancier et a quitté le port du Conquet, le suivi n'a donc pas pu se poursuivre au-delà du mois de juillet 2016.



***Bilan saison 2016 :***

Au bout de deux mois de test, la carène commence seulement à se recouvrir d'un léger biofilm algal. La vente du bateau n'a pas permis d'avoir un suivi plus long. Lors de l'application de la peinture, le plaisancier a noté une difficulté d'application du fait de l'épaisseur de la peinture, ce qui a été corrigé par la société Nautix.

## PEINTURE R&D NAUTIX

Peinture avec des polymères biodégradables moins impactant pour l'environnement.



### AVANTAGES

- 👍 Matrice composée de polymères biodégradables donc moins d'impact sur l'environnement.
- 👍 Efficace sur les espèces encroûtantes.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Présence de biocide donc toujours un impact sur l'environnement même s'il est moindre qu'avec les peintures classiques
- 👎 Nécessite un carénage annuel sur un site adapté.



### LIMITES

- 👉 Peut être couplé avec un nettoyage régulier de la carène.






Site internet  
<http://www.nautix.com/>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	<b>Rutabaga</b>	<b>Caravelle</b>	<b>Hydra</b>
	Voilier course DZ	Caravelle DZ	Vedette Conquet
	2016	2016 - 2017	juin - juil 2016
<b>EFFICACITE</b>			
algues	vertes et brunes	vertes et brunes	film
espèces encroûtantes	non	sur bande molle	non
Efficacité/bateau			
remarques	une seule saison		suivi insuffisant (2 mois)

### Par technique

Efficacité	
	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
	
Relargage de molécules	
	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
<b>N.C</b>	

## PEINTURE SEAWAX

### Peinture Seawax : 2 bateaux au Conquet.

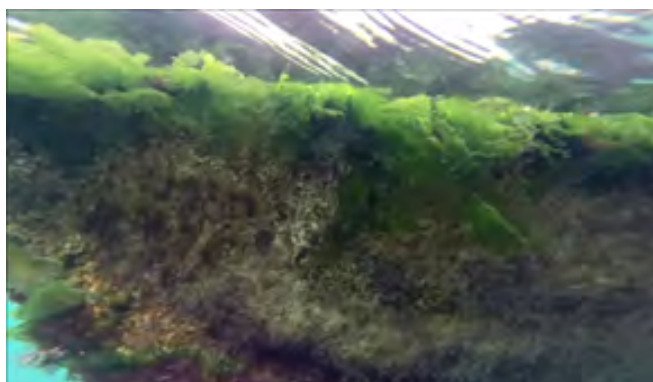
C'est une peinture en phase aqueuse à base de cire, sans biocide. Son action est mécanique, la surface

#### • Vedette au Conquet :

Le bateau participant à l'expérimentation est une vedette Eider Sea Rover 590 de 5.95 m appartenant à un plaisancier du port du Conquet.

La technique alternative testée est une peinture à base de cire, la Seawax. Le bateau a été mis à l'eau le 07 juin 2016.

lisse limitant le développement du fouling et la vitesse de navigation permettant de nettoyer la carène.



#### **Bilan saison 2016 :**

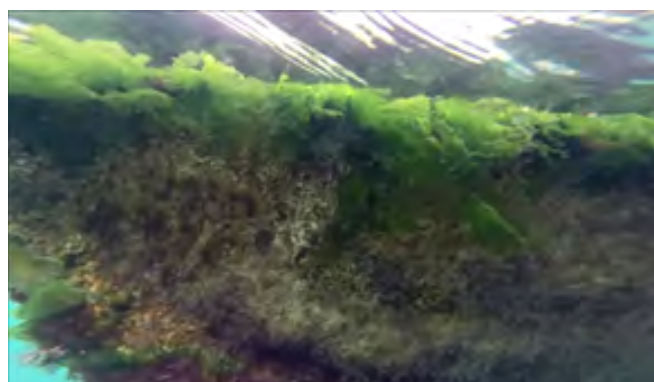
La peinture Seawax est inefficace pour ce type de bateau avec une vitesse de déplacement relativement faible. La colonisation algale a été très rapide avec également la présence d'espèces encroûtantes après seulement trois mois d'immersion. Les thalles des algues au niveau de la ligne de flottaison font plusieurs dizaines de cm de long. La peinture est trop soluble dans l'eau. Le plaisancier n'a pas prolongé l'expérimentation en 2017.



• **Vedette au Conquet**

Tout comme le bateau précédent, le test a porté sur la peinture Seawax à base de cire. Le bateau suivi est une vedette Bayliner d'environ 7m. Le plaisancier pratique la pêche et la promenade et sur la période de suivi a effectué environ 7 jours et demi de sorties. Le bateau n'a pas navigué entre le 8 juillet et le 8 septembre.

La peinture a été appliquée entre le 12 et le 15 juin 2016, le bateau a été remis à l'eau le 16 juin. Au mois d'août le plaisancier a pulvérisé de l'eau de javel au niveau de la ligne de flottaison et le bateau a été nettoyé au grattoir le 8 septembre.



**Bilan saison 2016 :**

La peinture Seawax n'a pas montré son efficacité sur ce type de bateau avec une vitesse de déplacement relativement faible. De plus, le plaisancier n'a quasiment pas navigué durant le suivi. Les algues sont apparues très tôt sur la carène et se sont développées pour atteindre plusieurs dizaines de cm au bout des quatre mois de test. Les espèces encroûtantes sont apparues au bout de seulement deux mois et demi. Cette peinture ne sera pas suivie la saison prochaine.

	Lytury	Lady Helen
	Vedette Conquet	Vedette Conquet
	2016	2016
<b>EFFICACITE</b>		
algues	vertes et brunes	vertes et brunes
espèces encroûtantes	oui > 50%	oui > 50%
Efficacité/bateau	👍	👍
remarques	peinture trop fragile et hydrosoluble	

## PEINTURE M300

**Peinture au Cuivre M300 : 2 bateaux à Douarnenez,**  
C'est une peinture à matrice dure (résine polyester) contenant une grande quantité de cuivre utilisé

comme biocide. Elle est prévue pour durer cinq ans et permet ainsi de limiter le nombre de carénage.

### • Voilier à Douarnenez :

Le bateau en test est un Bénéteau First 211 de 6,40 m appartenant à un particulier. Le bateau est sur ponton principalement au port de Tréboul (il est resté quinze jours sur ponton au Port Rhu entre fin juin et début juillet). Sur la période fin mai à début septembre, le plaisancier a effectué une trentaine de sorties en baie de Douarnenez pour soit de la promenade, soit de la pêche à la traine.

Les couches de peintures recouvrant la carène du bateau ont été éliminées par aéro-gommage puis la coque a été recouverte d'une couche de primaire avant de recevoir une couche de peinture M300. Le temps de préparation du bateau a duré 4 jours entre le 27 et le 30 mai 2016.

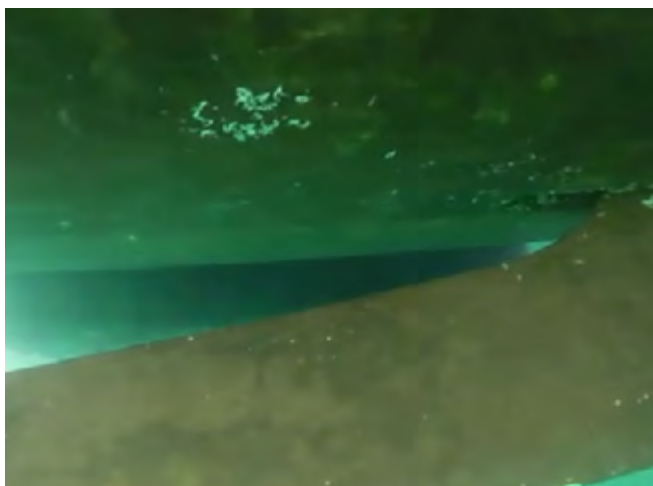
Le bateau a été sorti de l'eau le 08 septembre.





***Bilan saison 2016 :***

La carène s'est progressivement colonisée d'algues brunes et surtout d'algues vertes au niveau de la ligne de flottaison. Quelques espèces encroûtantes comme les vers tubicoles sont présents en certains endroits de la carène. L'action du nettoyeur haute pression a permis de nettoyer la quasi-totalité de la carène, seules les espèces encroûtantes sont encore présentes. Le suivi de la saison prochaine permettra de voir si ces espèces continuent à coloniser la carène ou pas. Le plaisancier est satisfait de la peinture, il réalisera un nettoyage complet de la coque avant la remise à l'eau du bateau en début de saison prochaine.



***Bilan saison 2017 :***

Le biofilm algal est nettement moins présent que la saison précédente. Comme l'an passé on note la présence de vers tubicoles mais pas d'autres espèces encroûtantes. La peinture a permis un développement limité du fouling sur la carène.

- **Vedette à Douarnenez :**

Le bateau test est une vedette au port de Tréboul à Douarnenez.



***Bilan saison 2017 :***

Des espèces encroûtantes se sont développées sur la carène avec présence également d'algues vertes sur le safran. La peinture ne semble pas très efficace sur ce bateau.

## PEINTURE M300

Peinture contenant une très forte concentration de cuivre dans une matrice polyester.



### AVANTAGES

- 👍 Présence d'un seul biocide : le cuivre.
- 👍 Peinture à renouveler tous les cinq ans (une seule couche).
- 👍 Nettoyage aisé au nettoyeur haute pression.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Présence d'un biocide : le cuivre.
- 👎 Contraintes d'application : 3 couches et respecter les temps de séchage, soit environ 3 jours d'immobilisation du bateau.
- 👎 Biofilm algal sur la carène et espèces encroûtantes mais peu nombreuses et très localisées sur un des bateaux tests, plus forte colonisation sur le second bateau en test.

### LIMITES

- 👉 Temps de suivi insuffisant (3 mois) pour conclure sur le produit testé.
- 👉 Le développement d'un biofilm est possible, il est donc préférable de nettoyer régulièrement la carène pour que le cuivre reste actif.















Site internet  
<http://m300antifouling.fr/>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	Manoes	Marana
	Voilier DZ	Vedette DZ
	2016 - 2017	2017
<b>EFFICACITE</b>		
algues	film	oui
espèces encroûtantes	un peu	oui
Efficacité/bateau	 	
remarques		mauvaise application?

### Par technique

Efficacité	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
 	 
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
  	 
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ €	    



## PEINTURE SILICONE HEMPEL

### Peinture au silicone Hempel : 2 bateaux à Douarnenez,

Le principe des peintures au silicone est différent des peintures antisalissures classiques car elles n'ont pas pour objectif de « tuer » le fouling sous l'action d'un

biocide mais d'empêcher leur développement. En effet leur surface lisse et glissante n'est pas propice à l'accrochage des organismes marins et favorise l'autonettoyage de la coque lors de la navigation.

#### • Voilier à Douarnenez

Le bateau test est un voilier sur ponton au port de Tréboul à Douarnenez. C'est un voilier de série de 7,65 m avec une vocation régates et course côtière. Il est la propriété de l'association Winches Club et l'activité principale est la navigation de loisir et sportive avec un nombre de sorties estimé à 10 sur la période de mi-mai à septembre.



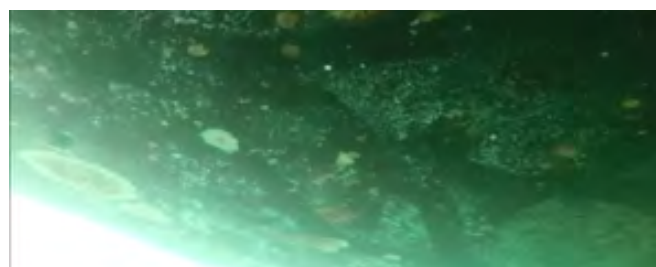
La coque a été recouverte d'un primaire, du Tiecoat puis de deux couches de peinture à base de silicone. Le tout a nécessité 4 jours de travail. La peinture étant relativement fragile et glissante, la remise à l'eau du bateau a été réalisée avec des élingues et non des sangles. Le bateau a été remis à l'eau le 17 mai 2016.



#### **Bilan saison 2016 :**

Le fouling s'est progressivement installé sur la carène avec quelques amas blanchâtres pouvant être des macroalgues ou des espèces encroûtantes (la photointerprétation n'a pas permis de les différencier). Après nettoyage de la coque à l'éponge en fin de saison de navigation, le fouling encore présent sur la carène était très limité le mois suivant.

L'association propriétaire du bateau se dit très satisfaite de la peinture de part sa tenue, la faible salissure de la carène, la facilité d'entretien et les performances à la voile.

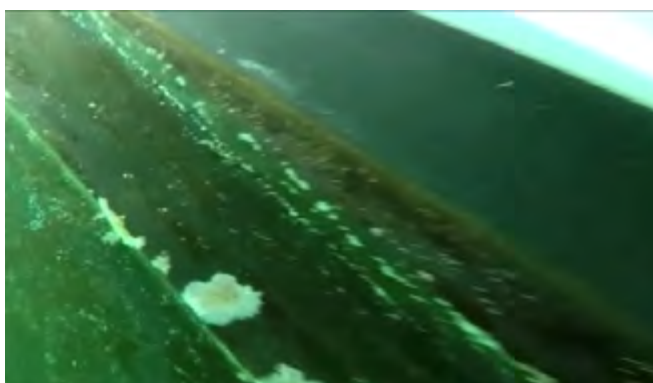


#### **Bilan saison 2017 :**

Tout comme la saison passée le fouling s'est progressivement installé sur la carène avec au début la seule présence d'un film algal puis un développement d'espèces encroûtantes en plusieurs endroits de la carène.

- **Semi-rigide à Douarnenez :**

Le bateau en test est un semi-rigide sur ponton à Douarnenez. Il n'a fait l'objet d'un suivi que sur la saison de navigation de 2017.



***Bilan saison 2017 :***

Les algues se sont développées tout au long de la saison de navigation. Quelques espèces encroûtantes sont apparues mais peu nombreuses.



## PEINTURE HEMPEL AU SILICONE

Peinture à base de silicone limitant l'accroche du fouling et favorisant une bonne glisse.

### AVANTAGES

- 👍 Ne contient pas de biocide, ni de métal lourd.
- 👍 Limite la prolifération du fouling, carène facilement nettoyable à l'éponge ou à la serpillère.
- 👍 Améliore la glisse (gain en vitesse et diminution de la consommation en carburant).
- 👍 Selon le fabricant, dure 3 saisons sans avoir besoin de refaire un carénage.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Contient du silicone, revêtement persistant, non biodégradable à court terme.  
Une étude de toxicité en milieu marin est menée en parallèle.
  - 👎 Contient des solvants, forte odeur lors de l'application.
- 👎 La coque nécessite d'être poncée jusqu'au gelcoat lors de la 1ère application.  
Plusieurs couches de peintures sont nécessaires (primaire + peinture au silicone)  
avec des conditions d'applications spécifiques.

### LIMITES




- 👉 Nécessite des lavages de la carène durant la saison, mais pas de carénage.
  - 👉 Non compatible avec des bateaux s'échouant avec la marée et avec des bateaux faisant peu de sorties et naviguant à faible vitesse.
  - 👉 La peinture au silicone doit être intégralement retirée pour revenir à un antifouling classique.

Site internet















<http://www.hempel.fr/fr-FR/products/hempels-silic-one-77450>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	Pirouette	Tor Pen
	Voilier DZ	zodiac DZ
	2016 - 2017	2017
<b>EFFICACITE</b>		
algues	brunes	biofilm
espèces encroûtantes	un peu	un peu
Efficacité/bateau	 	 
remarques	avec lavage éponge	

### Par technique

Efficacité	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
 	   
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
  	
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ €	   

## ADHÉSIFS UNIFLOW SILIKON TOP

**Adhésifs au silicone Uniflow : 1 bateau à Douarnenez.** Des adhésifs dont la surface est recouverte de silicone sont posés sur la carène. Leur surface lisse permet

d'éliminer le fouling lors de la navigation et limite le développement du fouling sur la carène. Les adhésifs doivent être posés par du personnel qualifié.

### • Voilier à Douarnenez

Le bateau test est un voilier BONGO 9.60 sur ponton au port de Tréboul à Douarnenez. Il est la propriété de la société Voile Horizons qui propose des sorties en mer et de la location de voiliers. L'activité principale est la croisière rapide et la promenade. Le nombre de sorties a été estimé à 100 sur la période de mars à fin décembre. Des adhésifs recouverts de silicone ont été posés par le fabricant Uniflow les 3 et 4 mars 2016. Les safrans et le bulbe n'ont pas été recouverts.

La coque a été nettoyée à la serpillère une fois par mois.





## ***Bilan saison 2016 :***

La colonisation de la carène par les algues a été très limitée et ralentie par le passage régulier d'une serpillière sur la carène. Les algues fortement présentes sur les safrans et pas sur le reste de la carène montrent l'efficacité des adhésifs de part leur pouvoir lisse qui limite l'accroche et qui facilite le nettoyage.

La limite du procédé est la colonisation des joints mais on remarque qu'elle ne s'étend pas sur les adhésifs et reste donc localisée. Les joints ont été améliorés et changés en 2017.

La partie avant de la carène est plus colonisée par les algues que la partie arrière, vraisemblablement lié à la morphologie du bateau avec une carène arrière beaucoup plus plate et limitant l'action du rayonnement solaire.



## ***Bilan saison 2017 :***

Tout comme sur la première saison de navigation, les algues brunes se sont développées sur l'ensemble de la carène la recouvrant d'un film. Quelques espèces encroûtantes ont fait leur apparition mais principalement au niveau des joints des adhésifs. Globalement le rendu est satisfaisant.

## ADHÉSIFS AU SILICONE UNIFLOW

Adhésifs recouverts de silicone limitant l'accroche du fouling et favorisant une bonne glisse.



### AVANTAGES

- 👍 Ne contient pas de biocide, ni de métal lourd.
- 👍 Limite la prolifération du fouling, carène facilement nettoyable à l'éponge ou à la serpillère.
- 👍 Améliore la glisse (gain en vitesse et diminution de la consommation en carburant).
- 👍 Pas d'odeur lors de l'application.
- 👍 Selon le fabricant, dure 5 saisons sans avoir besoin de refaire un carénage.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Contient du silicone, revêtement persistant, non biodégradable à court terme. Une étude de toxicité en milieu marin est menée en parallèle.
- 👎 Revêtement devant être appliqué par un professionnel.

### LIMITES


- 👉 Nécessite des lavages de la carène durant la saison, mais pas de carénage.
- 👉 Non compatible avec des bateaux s'échouant avec la marée et avec des bateaux faisant peu de sorties et naviguant à faible vitesse.
- 👉 Les joints entre les adhésifs sont colonisés par le fouling (algues et espèces encroûtantes) pour le produit testé lors de cette étude.
- 👉 Suivi limité sur un seul bateau, aurait mérité d'être testé sur un panel plus large.

Site internet






<http://www.uniflow-marine.com/fr/uniflow-yachting/>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	Diégo
	Voilier DZ
	2016 - 2017
<b>EFFICACITE</b>	
algues	film
espèces encroûtantes	sur joints
Efficacité/bateau	
remarques	serpillère

### Par technique

Efficacité	
	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
	
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ € € €	

## ADHÉSIFS ANTI-GRAFFITIS GSDI

### Adhésifs GSDI

#### 1 bateau à Douarnenez.

Les adhésifs n'ont pas de réel pouvoir antifouling mais l'aspect lisse de leur surface recouverte de silicone doit

permettre de limiter l'accroche du fouling et doit faciliter le nettoyage de la carène à l'éponge ou à la brosse souple.

#### • Voilier à Douarnenez :

Le bateau test est un voilier First 30 sur ponton au port de Tré-boul à Douarnenez. L'activité principale est la navigation de promenade avec un nombre de sorties équivalent à 6 jours en juillet. Le plaisancier n'a pas communiqué le nombre de sorties effectuées en août et septembre.

Des adhésifs (films anti graffitis) issus du service Recherche et Développement de la société GSDI ont été posés par le fabricant le 29 juin 2016. Des patches d'échantillons en test ont été posés sur le haut de la quille.

Cette expérimentation menée par la société GSDI leur permettra de vérifier la bonne accroche des adhésifs sur la coque, les éventuelles difficultés liées à la pose du film.



#### **Bilan saison 2016 :**

Après presque quatre mois et demi d'immersion, lors de sa sortie de l'eau la carène était entièrement recouverte d'une couche d'algues qui s'est développée progressivement. A noter également la présence d'espèces encroûtantes comme les vers tubicoles et les bryozoaires. La nature lisse des adhésifs permet d'enlever facilement le biofilm algal de la carène mais plus difficilement les espèces encroûtantes. Le suivi va se poursuivre la saison prochaine.

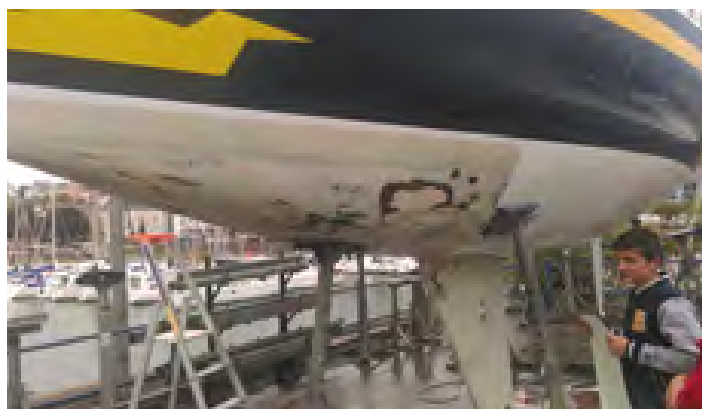


#### **Bilan saison 2017 :**

17 mois après la pose des adhésifs, la carène est entièrement recouverte d'un film d'algues complété par la présence d'espèces encroûtantes et d'ascidies en grand nombre. Nous n'avons pas l'information du nombre de sorties effectuées par le bateau car le principe de ce procédé étant, aussi, de nettoyer la carène par la vitesse de navigation, si le bateau ne sort pas beaucoup le nettoyage de la carène ne s'opère pas. Il faut donc compléter par un nettoyage régulier de la carène.

## ADHÉSIFS GSDI

Film adhésif recouvert de silicone limitant l'accroche du fouling et favorisant une bonne glisse.



### AVANTAGES

- 👍 Ne contient pas de biocide, ni de métal lourd.
- 👍 Limite la prolifération du fouling, carène facilement nettoyable à l'éponge ou à la serpillère.
- 👍 Améliore la glisse (gain en vitesse et diminution de la consommation en carburant).
- 👍 Pas d'odeur lors de l'application.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Contient des additifs, revêtement persistant, non biodégradable à court terme. Une étude de toxicité en milieu marin est menée en parallèle.
- 👎 Revêtement devant être appliqué par un professionnel.
- 👎 Colonisation de la carène par les algues et par des espèces encroûtantes plus nombreuses lors de la deuxième année de test.

### LIMITES

- 👉 Nécessite des lavages de la carène durant la saison, mais pas de carénage.
- 👉 Non compatible avec des bateaux s'échouant avec la marée et avec des bateaux faisant peu de sorties et naviguant à faible vitesse.
- 👉 Suivi limité sur un seul bateau, aurait mérité d'être testé sur un panel plus large.

Site internet  
<http://gsdi.fr/>








## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE

### Par navire test

	<b><i>Kelell</i></b>
	Voilier DZ
	2016 - 2017
<b>EFFICACITE</b>	
algues	oui
balanes	non
Espèces encroûtantes	oui
Efficacité/bateau	
remarques	

### Par technique

Efficacité	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
	
Relargage de molécules	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
	
Coût	Toxicité larve de poisson (bar)
€ € € €	

## PAREFOULING NAUTIC INNOVATION

### **Parefouling Nautic Innovation :**

#### **1 bateau à Douarnenez.**

La technique alternative testée est un parefouling qui se compose d'une bâche qui enveloppe la carène.

Cette enveloppe crée des conditions défavorables pour le développement du fouling et permet une mortalité des espèces présentes.

#### **• Voilier à Douarnenez :**

Porphyre est un voilier Bénéteau First 265 d'une longueur de 8,05 m appartenant à un particulier et localisé sur ponton au port de Tréboul. Il navigue principalement en baie de Douarnenez avec quelques sorties vers l'île de Sein ou Crozon – Morgat. Au total il a effectué 31 sorties sur la période de mi avril à fin septembre.

Après un hivernage au sec, le bateau a été caréné en avril avec pose d'un antifouling semi érodable classique. Dans ce test, le fait que le plaisancier ait mis une peinture antifouling classique ne permettra pas de voir l'efficacité réelle du parefouling mais permettra de recueillir le ressenti du plaisancier quant à son utilisation.

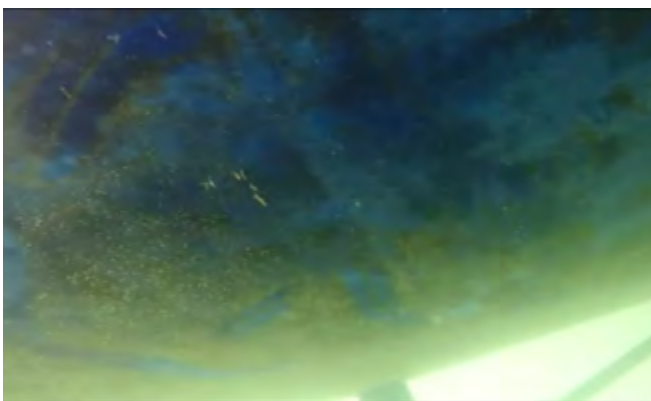




***Bilan saison 2016 :***

Après onze jours de pose du parefouling on n'observe pas de mortalité des espèces présentes sur la carène. Le temps de pose doit être trop court pour permettre, notamment, un changement de salinité de l'eau interstitielle.

Le plaisancier trouve que le parefouling n'est pas pratique à utiliser surtout lorsqu'il est seul à le manipuler. Le bateau étant grand, le parefouling prend beaucoup de place lorsqu'il est replié. Le plaisancier le recommande surtout pour un hivernage du bateau sur ponton. Il est cependant prêt à le tester de nouveau en 2017.



***Bilan saison 2017 :***

Le parefouling a été testé sur une courte période en 2016 sur ce bateau. Nous n'avons pas d'indication sur les dates de pose du parefouling en 2017 et il semblerait que le plaisancier a nettoyé régulièrement la carène de son voilier à la brosse ou à l'éponge. Nous ne pouvons donc pas conclure sur l'efficacité du parefouling;

## PAREFOULING

Enveloppe opaque et anti-adhérente à mettre autour de la carène. En emprisonnant l'eau entre l'enveloppe et la carène, permet le développement d'un milieu peu propice au développement du fouling (eau saumâtre, absence d'oxygène et de lumière).



### AVANTAGES

- 👍 Pas de peinture antifouling donc pas de relargage de biocide.
- 👍 Pas de carénage.

### INCONVÉNIENTS

- 👎 Manutention de la bâche avant et après la sortie en mer.
- 👎 La présence de deux personnes peut s'avérer nécessaire pour la manutention de la bâche.
- 👎 Dégagement d'odeur lors de la décomposition du fouling.

### LIMITES


- 👉 Non compatible avec des bateaux s'échouant avec la marée.
- 👉 Les sanitaires ne peuvent pas être utilisés après la pose de l'enveloppe sauf adaptations particulières.
- 👉 Tests incomplets.

Site internet

<http://www.nautic-innovation.com/>

## BILAN EFFICACITÉ, RELARGAGE, TOXICITÉ : PAR NAVIRE TEST, PAR TECHNIQUE






















### Par navire test

	<b><i>Porphyre</i></b>
	DZ
	2016 - 2017
<b>EFFICACITE</b>	
algues	oui
balanes	non
espèces encroûtantes	oui
Efficacité/bateau	
remarques	avec antifouling classique

### Par technique

<b>Efficacité</b>	Toxicité microalgue ( <i>Phaeodactylum tricornutum</i> )
Non évalué/test incomplet	Non évalué
<b>Relargage de molécules</b>	Toxicité crustacé ( <i>Artemia salina</i> )
Non évalué	Non évalué
<b>Coût</b>	
€ €	

## TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TOXICITÉS PAR PRODUIT

	<b>P. tricornutum</b> (microalgue)	<b>A. salina</b> (crustacé)	<b>D. labrax</b> (larvepoisson)
Hempel SilicOne			
MacGlide			
Uniflow			
International			
Boero			
Nautix (expérimentale)			
M300			
Solutions Mécaniques: - Brosse Lulu - Ultrasons - Nettoyage haute pression - Parefouling	En l'absence de substances antifouling sur les coques, les méthodes mécaniques ne relarguent pas de molécules susceptibles d'engendrer de la toxicité. Ces méthodes sont donc «Non concernées» par la toxicité.		

## ANNEXE 1

### FICHE D'APPLICATION PEINTURE

**Nom du plaisancier :**

**Immatriculation bateau :**

**Date :**

**Lieu :**

**Type de peinture précédemment utilisé :**

**Nombre de couches présentes sur la coque :**

**Nom de la peinture utilisée :**

**Traitement réalisé sur la carène :**

- Nettoyage
- Dégraissage
- Décapage :
  - Grattoir, jet haute pression
  - Autres :
- Ponçage (taille du grain) :
- Autres interventions :

**Nom du primaire d'accrochage utilisé :**

**Méthode d'application de la peinture :**  pinceau  rouleau  pistolet

**Facilité d'application de la peinture :**  très satisfait  satisfait  insatisfait

**Nombre de couches appliquées :**

**Quantité utilisée** (approximativement en fonction de la quantité restante dans le pot) :

**Date et heure du début d'application de la peinture :**

- Primaire :
- Sous-couche :
- Couche finale :

**Temps :**  ensoleillé  nuageux  pluvieux

**Durée d'immobilisation du bateau :**

**Odeur :**  très désagréable  désagréable  indifférente

**Aspect final :**  très satisfaisant  satisfaisant  insatisfaisant

**Appréciation globale :**  très satisfait  satisfait  insatisfait

## ANNEXE 2 FICHE DE PRISES DE VUE

**Nom du plaisancier :**

**Immatriculation bateau :**

**Lieu :**  Douarnenez  Le Conquet  Granville

**Date et heure début du suivi :**

**Nombre total de prise de vue pour :**

**Photos :**

**Films :**

**Heure film arrière bâbord :**

**Heure film avant bâbord :**

**Heure film avant tribord :**

**Heure film arrière tribord :**

**Heure film tableau arrière :**

**Heure fin du suivi :**





**NOTES**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

FINISTÈRE  
Tourisme, Nautisme  
& Territoires 360°

1 allée François Truffaut  
CS 92005 - 29018 Quimper cedex

[www.finistere360.com](http://www.finistere360.com)

