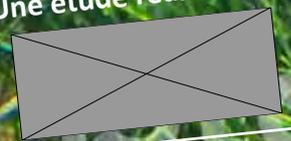


TOUT
commence
en FINISTÈRE

BRETAGNE

ALTERNATIVES AUX PEINTURES ANTIFOULING

Une étude réalisée par



NOS PARTENAIRES



SOMMAIRE



Légende

   
Impact environnemental

   
Toxicité du produit

   
Éléments de relargage

    
Efficacité


Indice amélioration de la glisse

Nautisme en Finistère a répondu en 2015 à un « Appel à manifestation d'intérêt » (AMI) proposé par l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) et intitulé :

ECONAVIGUER DANS UNE AIRE MARINE PROTÉGÉE

QUE SONT L'ÉCONAVIGATION ET LES AIRES MARINES PROTÉGÉES ?

L'éconavigation 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 le secteur de la plaisance, en qui nous concerne.

L'AAMP a établi un partenariat avec le réseau EcoNav depuis plusieurs années pour faciliter le transfert des initiatives positives en matière d'éconavigation.

EcoNav est une association dont l'action est dédiée à la promotion d'une navigation écoresponsable. Elle recherche pour cela à fédérer l'ensemble des réseaux d'acteurs pouvant s'impliquer dans l'éconavigation. Ainsi l'AAMP a contribué aux cahiers techniques réalisés par EcoNav (ports et abris, pratiques et comportements, bateaux et équipements) et un bilan des besoins des gestionnaires d'aires marines protégées en matière d'éconavigation a été produit conjointement.

Sur la base de ces besoins a été initié, le programme « Econaviguer dans une aire marine protégée », conduit par l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) et le Réseau EcoNav. Il vise sur 6 années (2014-2020) à encourager le développement de l'éconavigation sur le territoire des aires marines protégées. Pour cela, l'Agence et EcoNav encouragent et accompagnent techniquement et financièrement tout ce qui y contribue.

ÉCONAVIGUER DANS UNE AMP

Ce programme répond à 3 objectifs :

- 1 – METTRE EN PLACE UNE COORDINATION NATIONALE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCONAVIGATION DANS LE RÉSEAU DES AMP : CYCLES DE FORMATION, CONSEIL ET ACCOMPAGNEMENT DES PORTEURS DE PROJETS, OUTILS DE CONCERTATION, HARMONISATION DES RETOURS ET TRANSFERTS D'EXPÉRIENCES, ANIMATION D'UN CENTRE DE RESSOURCES.**
- 2 – ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT ET LE FINANCEMENT DE PROJETS PILOTES EXEMPLAIRES DANS LES DIFFÉRENTS SECTEURS DE L'ÉCONAVIGATION**
---> Le présent appel à manifestations d'intérêt répond à ce 2ème objectif.
- 3 – DÉRENNISER UNE STRATÉGIE DE RÉSEAU POUR RENFORCER L'ACTION SUR LE TERRAIN, LA COHÉSION ET L'ENTRAIDE ENTRE LES DIFFÉRENTS GESTIONNAIRES.**

OBJECTIFS DE L'APPEL À MANIFESTATION D'INTÉRÊT.

L'appel à manifestations d'intérêt recherche à favoriser le développement et la mise en œuvre de projets innovants concernant l'éconavigation et répondant aux objectifs suivants :

- l'acquisition et la diffusion des connaissances relatives à l'éconavigation,
- la mobilisation et la sensibilisation des usagers du milieu marin et/ou du grand public à cette thématique,
- l'encouragement des actions concrètes de développement de l'éconavigation dans les aires marines protégées (à titre d'exemple non limitative : mouillages innovants, ancrage, sensibilisation, formation, organisation spatiale des activités, écoconception de navires, utilisation d'équipements, produits non impactants sur le milieu marin....).

C'est dans ce contexte que 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 répondu à cet AMI qui s'inscrivait parfaitement dans le Livre Bleu 2015-2020, document stratégique du nautisme Finistérien.

En effet un des axes prioritaire 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.

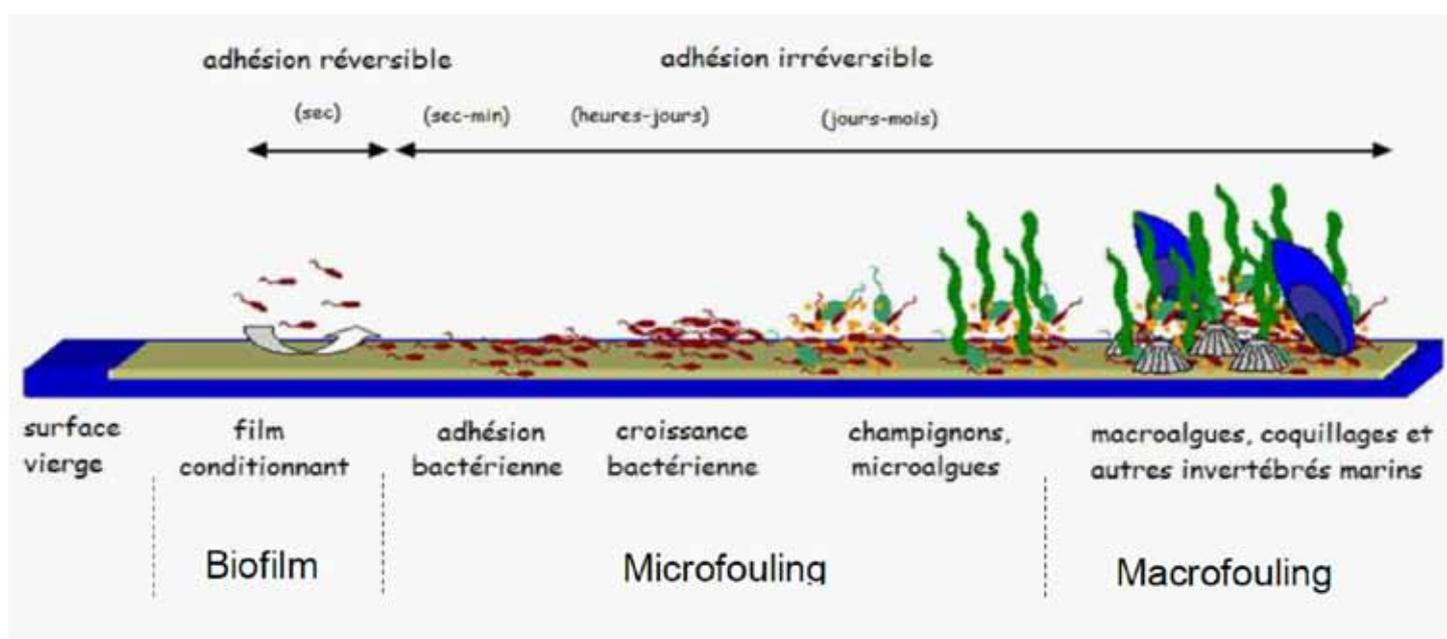
Nous avons donc décidé de nous intéresser au fouling mais surtout aux dispositifs « anti fouling » et leurs évolutions.

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.

LE FOULING

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.



QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES



Les animaux et végétaux qui se fixent ~~posent~~ 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 :

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

QUE FAIRE ?

L'action, la plus fréquente aujourd'hui, consiste à peindre ses œuvres vives d'une peinture dite antifouling, qui contient des biocides. À son contact, les organismes vivants sont tués. Si cette solution est efficace, elle est aussi polluante. Par l'effet du frottement avec l'eau, les biocides de l'antifouling se détachent de la coque et sont diffusés dans l'eau.

QUE REPRÉSENTENT LES PEINTURES ANTIFOULING ?

Sur la base des 25 000 navires de plaisance, au mouillage, recensés dans le Finistère ce sont environ 88 tonnes de peinture qui sont vendues et utilisées tous les ans. (Base 3.5kg de peinture /an /bateau).

On y retrouve les biocides classiques et leurs composants tel que le cuivre, le pyrithione de Zinc, des solvants (Xylène, Ethylbenzène) et bases polymère, des agents thixotropes ainsi que divers colorants et plastifiants.

LES ANTIFOULINGS

LES ANTIFOULINGS D'AUJOURD'HUI : LES PEINTURES À BASE DE BIOCIDES.

Depuis des années, la famille des peintures chimiquement actives à base de biocides représente 90% du marché mondial des peintures 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 a été interdite par l'OMI 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 chronique du milieu.

Les biocides sont encadrés par les règles européennes relatives à la protection des personnes et de l'environnement. Au 1er janvier 2018, une nouvelle directive biocide a diminué le nombre de molécule autorisé 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.

Liste des molécules et biocides autorisés ?

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. Le taux de biocide dans ce type d'antifouling est élevé, ce qui lui donne une bonne résistance mécanique et une application possible en épaisseur.

LA MATRICE ÉRODABLE

La matrice érodable ou matrice hydrophile s'érode au fil du temps, jusqu'à complètement se dissoudre de par l'action chimique de l'eau et l'action mécanique due aux mouvements du bateau.

UNE MATRICE AUTOPOLISSANTE

Elle est parfois utilisée 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.

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.

LES ANTIFOULINGS DE DEMAIN

UTILISATION DES PEINTURES ANTIFOULINGS

Elle a un impact avéré sur l'environnement et sur le milieu marin. L'activité de carénage, réalisée en site naturel, participe également à cette pollution par voie de ruissellement ou par voie aérienne.

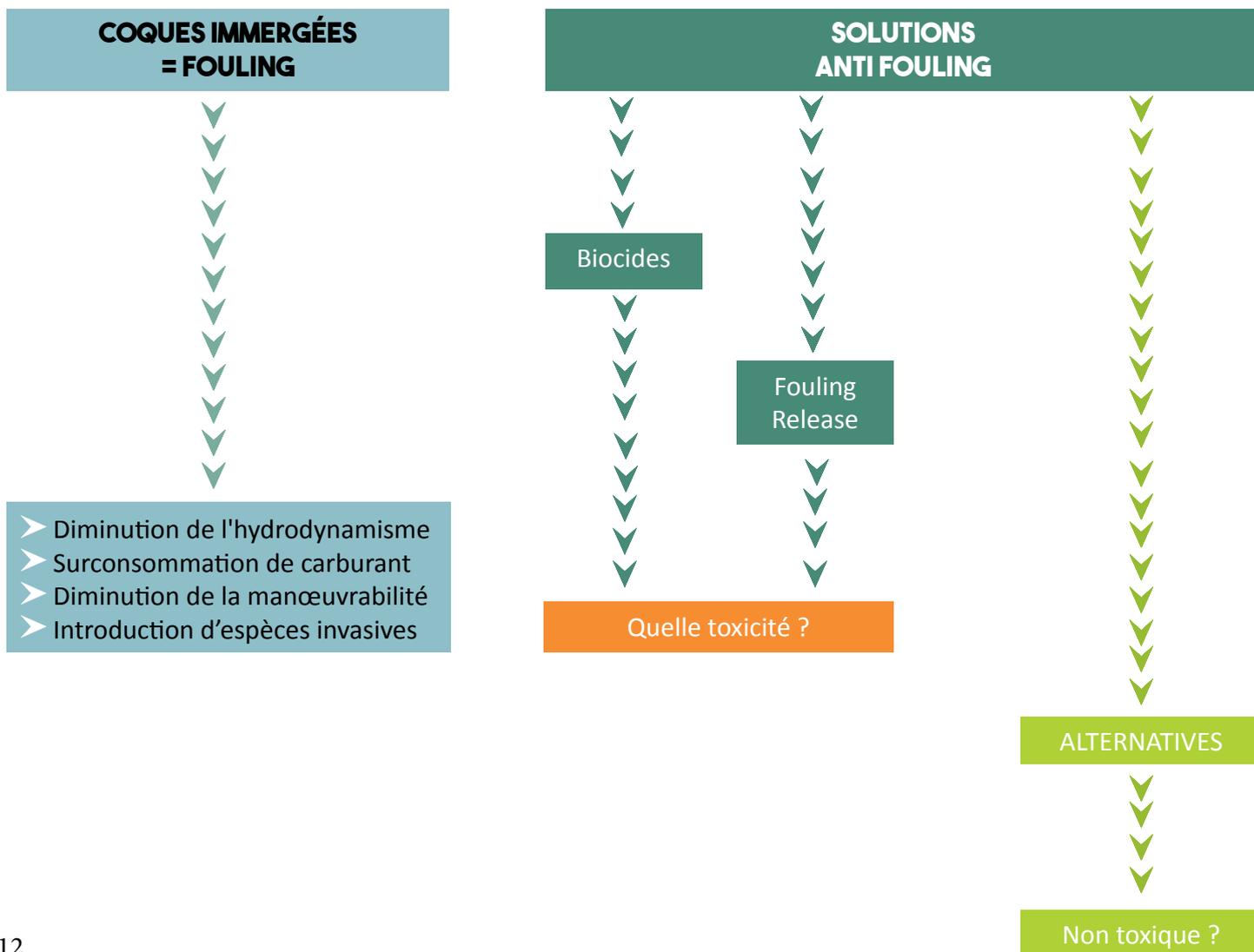
Plusieurs techniques « alternatives » se sont développées depuis quelques années. Ces alternatives sont présentées par leurs initiateurs comme plus respectueuses de l'environnement et s'appuient sur des effets mécaniques, chimiques, physiques voire biologiques.

L'objet du travail présenté dans ce document est d'étudier ces alternatives selon un protocole 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 Parc Naturel Marin d'Iroise qui ont assuré un suivi régulier de ces travaux, sur le terrain, pendant deux ans.

CADRE D'EXPÉRIMENTATION



PROCOLE

UNE EXPÉRIMENTATION SUR DEUX SAISONS DE NAVIGATION

UNE EXPÉRIMENTATION AU PLUS PRÈS DES UTILISATEURS

DES TESTS DE PRODUITS EN IMMERSION STATIQUE

DES TESTS DE PRODUITS EN SITUATION DYNAMIQUE

DES RELEVÉS SUR DES PAS DE TEMPS PRÉÉTABLIS

DES LOCALISATIONS DE TEST VARIÉES

**UN SUIVI SCIENTIFIQUE ASSURÉ PAR DEUX LABORATOIRES
SPÉCIALISÉS**

UN PARTENARIAT ÉLARGI

LES PRODUITS TESTÉS

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/>



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 PRODUITS TESTÉS

PEINTURE

LE SEAPEARLING

Peinture antifouling d'aspect nacré à matrice mixte de haute performance destinée à protéger les carènes de bateaux à moteur et à voile en empêchant l'accroche des salissures.

<http://www.marine-products.fr/antifouling.htm>



BORÉA ALTURA 619

Antifouling long life d'efficacité maximum, exempt de poisons organostaniques, à haute teneur en sels de cuivre. Grâce 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/antifoulings/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>



AUTRES

LE PAREFOULING

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

<https://nauticinnovation.wordpress.com>



ULTRASON

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

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



PEINTURE + SILICONE

HEMPEL AU SILICONE

HEMPASIL 77500 est un revêtement sans biocide qui minimise l'accroche des organismes marins.

<http://www.hempel.fr/fr-FR/products/hempasil-77500>



DDC – NÉOSIL



LES PRODUITS TESTÉS

ADHÉSIF

L'ADHÉSIF UNIFLOW

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

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



MACTAC – 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.



CARACTERISTIQUES COMPARÉES DES ALTERNATIVES TESTÉES

	PEINTURE			AUTRE			PEINTURE + SILICONE			ADHÉSIF	
	NAUTIX	SEAWAX	M 300	PARE FOULING	Brosse Lulu	ULTRASON	HEMPEL	NEOSIL	UNIFLOW	MACTAC	
Marque	R&D						SlicOne		Silikon Top	Macglide	
Référence											
Type	Liquidation en septembre 2015	résine Polyster Hybride + ions cuivre pur à 99%			Brosse avec flotteur		Peinture Silicone et hydrogel				
Application	rouleau/pinceau	rouleau / pinceau/ pistolet					rouleau/pinceau		film adhésif		
Facilité d'application (1* à 5*)	****	****			****		***		*		
Facilité d'application					Assemblage de tuyaux successifs		Décapage + primaire		Décapage + primaire	Décapage + primaire	
Epaisseur recommandée											
Nombre de couches	2	3	1				2		1		
rendement théorique							6m ² /l				
Délai entre deux couches											
Délai mise à l'eau (min<eau>maxi)			12h				1j<eau>30j				
Conditionnement							0,75l et 2,25l			ROULEAU 0,65 X25	
Conditions d'utilisation			T° 15 à 20°C				T° 15 à 20°C				
Indice d'efficacité					Coque ok Appendice ..						
Volume déchet											
Toxicité (de 1 à 5)											
Prix constaté			40€ /m ²	de 600€ à 1300€ l'u.	300€ la brosse		60€/m ² avec primaire et sous couche		130€/m ²		
CLASSEMENT NOTATION ?											

LES LABORATOIRES



Laboratoire public
Conseil, Expertise et Analyse en Bretagne

Propriété de Labocea, tous droits réservés

PROTOCOLE D'ANALYSE DES MOLÉCULES POUVANT ÊTRE RELARGUÉES PAR LES TECHNIQUES ALTERNATIVES TESTÉES

Le but de cette étude scientifique est de déterminer les molécules pouvant être relarguées en milieu marin par les différentes techniques alternatives aux peintures antifouling testées.

Le choix des techniques a été réalisé en collaboration par Nautisme en Finistère, LABOCEA et l'UBS et au final les techniques suivies sont :

- 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 développés par le service R&D,
- Et en complément une peinture classique de Boero et International.

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 et la seconde de mesurer les molécules pouvant être mises en suspension dans de l'eau de mer en présence des techniques alternatives testées (peintures et adhésifs).

L'étape de lixiviation a été conduite dans le laboratoire LBCM de l'UBS par Dalyal COPIN. Il s'agit de recouvrir des cylindres de peinture ou d'adhésif et de les plonger dans de l'eau de mer pure. 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 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.

LIXIVIATION

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.

Dans les peintures brutes, de nombreux solvants ont été mesurés ainsi que des composés plastifiants ou autre.

Les tests de lixiviation ont montré la présence de solvant, principalement benzène, au bout d'une semaine d'immersion. Cela s'explique par le fort potentiel volatil de ces molécules, cependant pour certaines techniques testées, ces solvants étaient encore présents au bout de 3 mois. Les phénols qui peuvent être utilisés dans certains plastiques et dans les résines époxy sont également retrouvés au bout d'une semaine. On retrouve également des molécules plastifiantes comme les phtalates, des huiles de silicone, des retardateurs de flamme...

Au bout de 6 mois le nombre de molécules mesurées est nettement plus faible mais on peut encore retrouver des phtalates ou des huiles de silicone par exemple.

Pour ce qui est des métaux (cuivre et zinc), le relargage maximum se fait au bout de 3 mois d'immersion.

Tous ces 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.

BILAN ÉTUDE LIXIVIATION

1. Contexte
2. Protocole de suivi
 - 2.1. Protocole de lixiviation
 - 2.2. Systèmes testés
3. Analyses
 - 3.1. Protocole analytique
 - 3.2. Analyse des peintures brutes
 - 3.3. Lixiviation, résultats analyses GC
 - 3.3.1. Blancs et eau de mer
 - 3.3.1. Boero
 - 3.3.2. International
 - 3.3.3. Nautix R&D
 - 3.3.4. M300
 - 3.3.5. Hempel
 - 3.3.6. Adhésif Uniflow Silikon Top
 - 3.3.7. Adhésif GSDI
 - 3.4. Lixiviation, résultats analyses Métaux
 - 3.4.1. Blancs et eau de mer
 - 3.4.2. Boero
 - 3.4.3. International
 - 3.4.4. Nautix R&D
 - 3.4.5. M300
4. Conclusion

1. CONTEXTE

Au vu de la nouvelle réglementation interdisant le carénage en dehors des installations agréées et du constat de la pollution des eaux par les molécules issues des peintures antisallissures, Nautisme en Finistère a décidé de mener une action afin d'inciter les plaisanciers à changer de pratiques en testant des techniques alternatives au carénage.

L'étude doit permettre de déterminer l'efficacité de différentes techniques alternatives aux peintures antifouling classiques, ainsi que leur impact sur l'environnement marin.

Depuis l'antiquité les marins ont essayé de protéger la coque de leurs bateaux pour limiter la prolifération de micro-organismes et organismes marins, appelée aussi biofilm ou fouling. 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.

Les peintures actuelles contiennent des substances actives appelées biocides (littéralement « qui tuent la vie »). Ces molécules contenues dans les peintures diffusent plus ou moins rapidement selon la matrice de la peinture (dure ou érodable) et permettent de limiter la prolifération du fouling sur la coque.

Il existe actuellement sur le marché, différentes techniques alternatives aux peintures antifouling « classiques ». Le but de cette étude est de tester l'efficacité de ces nouvelles techniques (in situ) mais également de vérifier leur éventuel potentiel polluant (en laboratoire).

Pour ce faire, le travail de LABOCEA est scindé en quatre parties :

- évaluer l'efficacité de chaque système alternatif testé,
- réaliser des analyses permettant de vérifier l'absence de contamination du milieu par les différentes techniques alternatives testées,
- estimer les quantités de déchets générés par les différentes techniques testées,
- réaliser une recherche bibliographique sur l'impact des biocides dans le milieu marin.

Le présent rapport concerne la partie permettant de déterminer la possible contamination du milieu marin par des molécules contenues dans les techniques alternatives testées (peintures ou films adhésifs).

2. PROTOCOLE DE SUIVI

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.

2.1. 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 la technique testée puis immergés dans des bacs contenant de l'eau de mer. Pour chaque technique, l'expérience a été réalisée en doublon, donc 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.

2.2. SYSTÈMES TESTÉS

Les systèmes qui ont été testés sont les suivants :

- **Les peintures innovantes à base de :**

- o Polymère biodégradable : peinture à base de polymère biodégradable avec une faible teneur en cuivre.

Nautix R&D

- o Cuivre : peinture renfermant jusqu'à 99,9% de cuivre dans une matrice polyester.

M300

- o Silicone : peinture à base de silicone. La surface lisse limite le développement du fouling et permet un nettoyage de la coque lorsque le bateau atteint une certaine vitesse.

Hempel SilicOne

- **Systèmes sans peinture :**

- o Les adhésifs : un film adhésif recouvert ou non de silicone est posé sur la carène.

Uniflow Silikon Top et GSDI

Pour comparaison, deux peintures « classiques » à matrice dure contenant des biocides ont également été testées : Boero Altura 619 et International Ultra EU.

3. ANALYSES

3.1. PROTOCOLE ANALYTIQUE

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.

3.2. ANALYSE DES PEINTURES BRUTES

Les peintures brutes, c'est-à-dire issues du commerce ou fournies aux plaisanciers, ont été analysées au laboratoire. Des screening 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 :

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

Les résultats sont indiqués dans *l'annexe 2* de ce rapport. Ce bilan a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs composés listés ci-après en fonction de chaque peinture.

- Peinture Seawax :

- o 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.
- o 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.

- **Peinture Boero :**

- o 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 d'un biocide, le **dichlofluamide**.
- o 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-Trimethyltricyclo[6.3.1.0(1,5)]dodecane-2,9-diol et du 1-Propene, 1,2-bis(4-methoxyphenyl). Beaucoup d'autres molécules sont présentes sans pouvoir être identifiées.

- **Peinture International :**

- o Sur peinture brute : présence de solvants principalement de type benzène ainsi que de deux molécules : le triphénylphosphate et l'acide phosphorique, (1-methylethyl)phenyl diphenyl ester. Présence de cuivre.
- o 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-Propene, 1,2-bis(4-methoxyphenyl) et le triphénylphosphate.

- **Peinture Nautix R&D**

- o 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.
- o 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 :**

- o Sur peinture brute : présence de diméthylphtalate ainsi que des molécules sortant à tr 44 et 49 min. Présence de cuivre.
- o Sur lixiviat : présence également de diméthylphtalate et de solvants : benzaldéhyde et alpha-méthylsty-rène. 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. Il semble intéressant de pouvoir les identifier et les suivre dans la lixiviation effectuée par l'UBS.

- **Peinture au silicone Hempel :**

- o 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.
- o Sur lixiviat : traces de polysiloxanes, de détergents non ioniques, de molécules dérivées du benzène et du phénol.

Faire tableau récapitulatif

3.3. 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.

3.3.1. 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.

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.

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.

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.

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 différentes 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-diméthyléthyl) phénol		0,25	0,22		0,25	0,25
4,4'-(1-méthylethylidène)bis phénol	<0,05	3,22	0,15	<0,05	<0,10	<0,10
2,4-bis(1-méthyl-1-phényléthyl) phénol	0,21	0,19	0,12	0,17	0,27	0,22
acide n-hexadécanoïque	1,10			<0,05		
acide benzoïque 4-éthoxy-éthyl ester	0,38	1,91	0,11	0,35	2,36	0,20
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,82			0,41	
1(3H)-isobenzofuranone		0,54			0,54	
2(3H) benzothiazolone		0,27			0,24	
Benzensulfonamid N butyl	<0,05	1,14		<0,05	0,70	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	<0,05	0,20	0,55	<0,05	0,21	0,21
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester		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.

3.3.1. 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	0,14	0,21	0,22
4,4'-(1-méthylethylidène)bis phénol	0,83	-	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)benzothiaolone		0,20	
benzensulfonamid N butyl		0,72	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	0,21	0,31	0,59
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	0,24	0,18	0,21
DEHP	0,17		
squalène	0,61	-	
cholestérol	0,37	-	

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-méthylethylidène)bis phénol (appelé également Bisphenol A ou BPA) à 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.

- 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 naphta (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). 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.

3.3.2. 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		0,46	
2,4bis(1,1-diméthyléthyl)phénol		0,19	0,24
4,4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	0,39	-	0,16
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	0,87	-	0,13
acide n-hexadecanoïque	2,27		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	-	1,72	0,24
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		1,20	
1(3H)-isobenzofuranone		0,52	
2(3H)benzothiazolone		0,44	
Benzensulfonamid N butyl		0,76	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	0,20	0,25	0,81
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	0,26	0,16	0,19
DEHP	0,11	0,93	0,12
squalène	0,44	0,10	0,09

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 concentration 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.

- 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 octadécanoïque	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		
phthalate d'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.

LIXIVIATION

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.

3.3.3. 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	0,18	-	0,13
2,4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	-	-	0,15
acide n-hexadécanoïque	0,21		
acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester	0,38	2,26	0,21
acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		0,94	
1(3H)-isobenzofuranone		0,49	
2(3H) benzothiazolone		0,23	
Benzensulfonamid N butyl		0,65	
acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester	0,21	0,30	2,82
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	0,25	0,22	0,20
di nbutylphtalate			0,15
DEHP	0,19	-	0,09
squalène	0,55		
cholestérol	0,27		

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 est légèrement plus élevé 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.

LIXIVIATION

- Autres molécules

Paramètres en µg/l	Nautix		
	1 semaine	3 mois	6 mois
Benzene 1-éthyl 3-méthyle		0,14	
Benzene 1-éthyl 2-méthyle		0,15	
Benzene 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.

3.3.4. 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
4-bis(1,1-diméthyléthyl) phénol		0,13	0,21
4'-(1-méthylethylidene)bis phénol	0,37	-	6,31
4-bis(1-méthyl-1-phenylethyl) phénol	-	-	0,09
Acide benzoïque 4-ethoxy-ethyl ester		1,74	0,32
Acide hexanoïque 3,5,5 triméthyle		1,23	
1(3H)-isobenzofuranone		0,63	
2(3H) benzothiazolone		0,53	
Benzenesulfonamid N butyl		0,82	
Acide 1,2-benzendicarboxylique bis(2-méthylpropyl)ester		0,31	0,29
Acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester	0,28	0,22	0,22
Polyclotrisiloxane, 2,4,6-triméthyl- 2,4,6-triphényl		-	0,25
DEHP		1,92	0,14
Qualène	0,13	0,26	

Parmi les phénols mesurés dans les blancs et eau de mer on trouve du 4,4'-(1-méthylethylidene)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 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 élevées 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.

LIXIVIATION

- 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.

3.3.5. 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).

LIXIVIATION

- Autres molécules

Paramètres en µg/l	Hempel		
	1 semaine	3 mois	6 mois
7,9 di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diène-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 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'octaméthylcyclotérasiloxane 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.

3.3.6. 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-méthylethylidene)bis phénol	0,40		
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		0,39	2,49
acide fumarique, di(2,4-dichlorophényl)ester		0,16	0,18
DEHP		0,13	0,10
squalène		0,11	
cholestérol	0,18		

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-méthylethylidene)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'agit 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.

3.3.7. Adhésif 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.

LIXIVIATION

3.4. LIXIVIATION, RÉSULTATS ANALYSES MÉTAUX

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

3.4.1. 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.

3.4.2. Boero

	Boero	Boero	Boero
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	77	581	89
Zinc	-19	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.

3.4.3. International

	International	International	International
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	46	1295	75
Zinc	60	539	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.

3.4.4. Nautix R&D

	Nautix	Nautix	Nautix
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	30	676	71
Zinc	-33	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.

3.4.5. M300

	M300	M300	M300
	1 semaine	3 mois	6 mois
Cuivre	24	3096	334
Zinc	24	-5	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.

4. CONCLUSION

Le bilan des molécules retrouvées par technique testée est présenté ci-dessous.

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

SYNTHÈSE

Dans les peintures et l'adhésif GSDI 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 biodégradable 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.

L'EFFET CHIMIQUE

Il consiste

XXXXXXXXXX

Ucimus ut oditate voluptati accusciis eum ratur alit aborem inveliatibus earchil eius dellupt aspersp eliciiste pliqui debis quo illia erovitibusam quo estium arciiis placeperat.

Fugia comnisq uiberum aspelig entiae sum dit dolorpore voles eliquatur, con nonsequia site optaturi venti quidel expedit prem ut asimaxi mporum voluptamus enis simos reribusam imαιο eumquatam dolupti assitae perferro idis

XXXXXXXXXX

Ut ouit et auuam, sicut ouis uolupta uolorem seu molorem veribuso via prernam simet odiciis iduciet faccabore sedi nonsedi nimpore henihitatus, et que et, quidempore nossitas nisimpos intis ut que magnam experehent expeliquunt.

Um isimpores dolore inullab orunt, unt in evenieture natem atus re, ut haruntionet eumquia vent.

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

Ficatem il magni comini qui ut aut ea dus voiores moluptus nosam erro maiores eculaccum hari que mo is et rae explici psuntiis aut facestem fuga. Sed maxincia siminctiis que explibus dentium quibus vel mi, sunt labor sus.

Ut voluptas reped ut lit ipsaeptae maio magni de voluptium, num fugit et et as sam, velessitas siti dolorestem faccus porerchiciet ius aditis auditiae cum im rem et harum quam vendaeri quam fuga. At in rerferitate et exero imil molo beatio imil imi, velent auda sequat.

Solendae. Nam illaut lacil into corion ra doluptaquia volutemporro evellup tur sed maximol uptaquibus et provid ulpa velliamet quatiat vel estemporiam estibus nonsed quatem si audia sim venis et laccuptios eumque dis exeris explabor accatur? Borenienimod escimol lorersp ieniendi sitenda epreium elit moluptaquas derci dolut alibus.

Occus. Um esto maios eos nobit autem nus ut quam fugiatium, im quam erum

L'EFFET MÉCANIQUE

Il consiste à laisser sa coque nue « sortie de chantier » et d'éviter le fouling avec 3 dispositifs assez simple.

SORTIR SON BATEAU DE L'EAU

Sortir son bateau de l'eau après chaque sortie. Le temps d'immersion de la coque correspondant à un temps de navigation le développement du fouling est infime sinon nul.

Cette pratique convient sans problème aux navires transportables mais est logistiquement plus lourde pour les navires de tonnage plus important.

La logique de port à sec ou port à terre est la réponse mais est encore fort peu développée.

ÉQUIPER SON BATEAU D'UNE ENVELOPPE

Equiper son bateau, à flot, d'une enveloppe qui va emballer le bateau et empêcher le développement du fouling. Basé sur le confinement, cette enveloppe appelée « Parefouling » va empêcher la lumière et l'oxygène de passer. Ce « Parefouling » film multicouche fabriqué en PFX-Aqua semble être inerte et sans impact sur le milieu. (dispositif testé. Voir fiche technique)

ÉQUIPER SON BATEAU D'UN ÉMETTEUR D'ULTRASON

Ce système repousse les organismes vivants via un phénomène de cavitation. La cavitation correspond à la formation de bulles de vapeur, sans élévation de température dans l'eau mais par une action mécanique.

En effet dans les liquides, sous l'action d'une certaine agitation, comme le mouvement d'une hélice par exemple, il se produit localement une baisse de pression suffisante pour provoquer leur vaporisation, même en dessous de leur température d'ébullition. En implosant, les bulles formées créent des ondes de choc. Cette technique ne disperse aucun produit toxique dans l'eau. Après essai sur deux navires (vedette 10m en polyester et vedette 6m transportable coque alu) ce système consommateur d'énergie semble plus efficace sur la coque alu avec un meilleur étalement des ondes de choc. (Dispositif testé. Voir fiche technique)

DES MÉTHODES EN DÉVELOPPEMENT

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

MOQUETTE FINSULATE

Des poils qui font fuir les bernacles ! Voilà une idée surprenante, mais qui pourrait bien s'avérer être l'antifouling de demain. «Collez de la moquette sous vos coques et vous naviguez propre !» C'est l'idée du nouveau produit Finsulate qui tente de s'introduire dans la plaisance.

LUMIÈRE UV

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

MIRAPAKON MK 300

LES AIDES AU NETTOYAGE OU AU CARÉNAGE SI PAS DE PEINTURE

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

LES ROBOTS LAVEUR

LES STATIONS DE BROSSAGE À FLOT

LES NETTOYAGES VAPEUR OU CRYOGÉNIQUE