

ANTIFOULING ULTRASONIQUE

Révision du 15/02/2021

Rédigé pour le Boat Biloup Club

L'idée de trouver rapidement un substitut aux antifoulings classiques, donc les peintures qui larguent des poisons à plus ou moins grande vitesse, doit faire agir les plaisanciers.

Probablement que dans quelques temps, les peintures biocides deviendront interdites et les revêtements à base de cuivre seront aussi interdits puisqu'ils relâchent (lentement c'est vrai, mais sûrement) un produit toxique dans l'eau.

D'autre part, les antifoulings ultrasoniques ont encore besoin d'un autre dispositif pour être qualifiés d'antifouling à part entière. Cela peut être une peinture toxique mais surtout dans l'avenir un revêtement auquel il reste encore à faire ses preuves. Le plus encourageant semble le film silicone ou bien le film hydrophobe. Mais des progrès en tenue sont nécessaires. Mais pour l'heure, le composé antifouling ultrasonique avec film de protection semble la solution qui promet le plus de développement. Et même si à chaque carénage tous les deux ou trois ans on n'a que quelques cm² à traiter, on aura fait un grand pas en avant vers une solution acceptable.

Pour l'heure, le seul fait de pouvoir doubler l'espacement entre deux mises à terre (AFU + peinture AF à matrice dure) rend l'AFU déjà plus que rentable rien qu'en un an.

Par la suite, si on parvient à un couplage effectif AFU + film, les sorties d'eau seront limitées par d'autres tâches programmées telles que changements d'huile, d'anodes, etc.

Je viens de poser sur Chtit Luma (Biloup 9m) un système électronique d'antifouling qui fonctionne en émettant des ultrasons.

Comment ça marche?

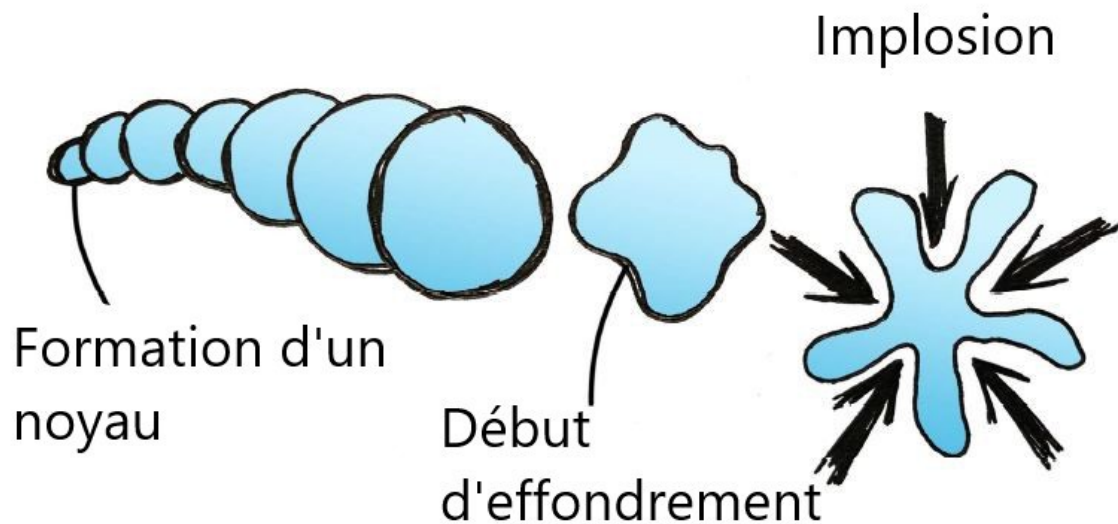
Un émetteur piézo-électrique appliqué sur une coque envoie à partir d'un courant électrique des vibrations à très haute fréquence, au-delà de ce que l'oreille humaine peut capter. Le principe de l'émetteur piézo-électrique, c'est qu'il consiste en un cristal qui change de forme quand un courant lui est appliqué. Si ce courant est alternatif, le cristal oscille et peut ainsi vibrer à de très hautes fréquences. Fixé à la coque, il fait également osciller la coque.

Les vibrations de la coque se transmettent à l'eau en provoquant à leur tour des séries alternatives de surpressions suivies de dépressions.

On va produire une cavitation acoustique grâce aux variations de pression déclenchées par des trains de vibrations ultrasoniques. Les ondes acoustiques se propagent dans le liquide sous forme de cycles alternant hautes et basses pressions. Les hautes pressions sont appelées « compressions » et les basses pressions sont appelées « raréfactions ».

Durant les cycles de raréfaction, les ondes acoustiques forment des bulles microscopiques de vide. Puis, à l'arrivée des trains de compression, les bulles microscopiques implosent (ou

cavitent), déclenchant des zones de très forte pression et température, à l'échelle microscopique. On parle de 5000°K en température et 2000 atmosphères en pression. Comme les fréquences d'émission sont sous forme de trains d'ondes à des fréquences variant de 20 à 200 KHz, les implosions selon le schéma ci-dessous se produisent à un rythme de 20.000 à 200.000 fois par seconde en produisant quelques millions de bulles d'implosion.



Quels en sont les effets ?

La haute compressibilité des bulles implosives signifie qu'une quantité considérable d'énergie est dispersée par les ultrasons. Ce dégagement d'énergie possède les propriétés recherchées.

Elles dérangent ou détruisent les algues microscopiques et les micro-organismes et/ou les stérilisent. Elles possèdent un effet « nettoyant » microscopique capable de casser des solides et sont également utilisées dans des processus de nettoyage et de stérilisation. Si les algues ne peuvent pas s'installer, les animalcules qui s'en nourrissent ne s'y installent pas.

Les fréquences sont importantes, ou plutôt les trains de fréquences. Les appareils les plus récents envoient des rafales d'ondes par vagues aléatoires ou séquentielles, selon les modèles. Les fabricants/laboratoires sont à la recherche d'algorithmes qui donnent les fréquences les plus perturbantes pour les micro-organismes mais aussi la plus grande précision (et donc des économies d'énergie) pour que les micro-bulles implosives soient générées exactement là où les algues et autres biologiques cherchent à s'accrocher. Déjà, c'est difficile mais encore plus pour que les appareils s'adaptent aux différentes épaisseurs de matériau. En termes d'émetteurs, ce n'est pas gagné. C'est un point qui reste en retard de développement.

Comment est-ce construit ?

Il faut savoir que les AFU modernes sont en deux catégories.

Basse pression et basse fréquence. Système très économe en énergie mais peu disponible en bateaux de plaisance (fabricants Globatech en Australie et EMCS au Canada). Ne génère pas de cavitation. Leur objectif est de rendre la coque inconfortable et simule un environnement prédateur pour dissuader les larves de s'installer. Il est donc impératif de partir d'une coque propre. Il semble aussi qu'ils sont efficaces en eau douce mais beaucoup moins en mer, sous toutes réserves.

Haute pression, haute fréquence. C'est la majorité des AFUs. Clairement, leur objectif est de trucider ce qui voudrait s'installer à la surface ou de les stériliser. Ils génèrent les micro implosions de cavitation, c'est leur principe de base.

Le secret de fabrication de chaque producteur réside dans l'algorithme qui met les trains d'ondes en séquence. Hélas, tous ne sont pas à la même enseigne en fonction des efforts de recherche et développement qu'ils ont mis en œuvre. Il faut que les fréquences soient aussi bien choisies, sachant que de toute façon, ce sont des trains d'ondes à fréquence variable qui sont émis. Il y a adaptation de chaque fréquence aux divers micro-organismes tous n'étant pas également sensibles à chaque fréquence. Le spectre de 20 à 200 KHz semble faire l'unanimité.

Ce fonctionnement n'est possible que grâce aux technologies numériques. Les débuts de ce principe d'antifouling ont été marqués par des déceptions parce que les systèmes alors analogiques ne pouvaient maîtriser qu'une fréquence à la fois ou bien atteignaient alors des prix exorbitants et des dimensions monstrueuses par rapport à nos petits voiliers.

Quels sont les éléments du système ?

Un ou plusieurs émetteurs sont en contact avec la coque et envoient les trains d'onde sous le contrôle d'un boîtier électronique qui contient les circuits de commande, de contrôle et de surveillance du système. L'algorithme choisi par le fabricant est piloté par un microprocesseur.

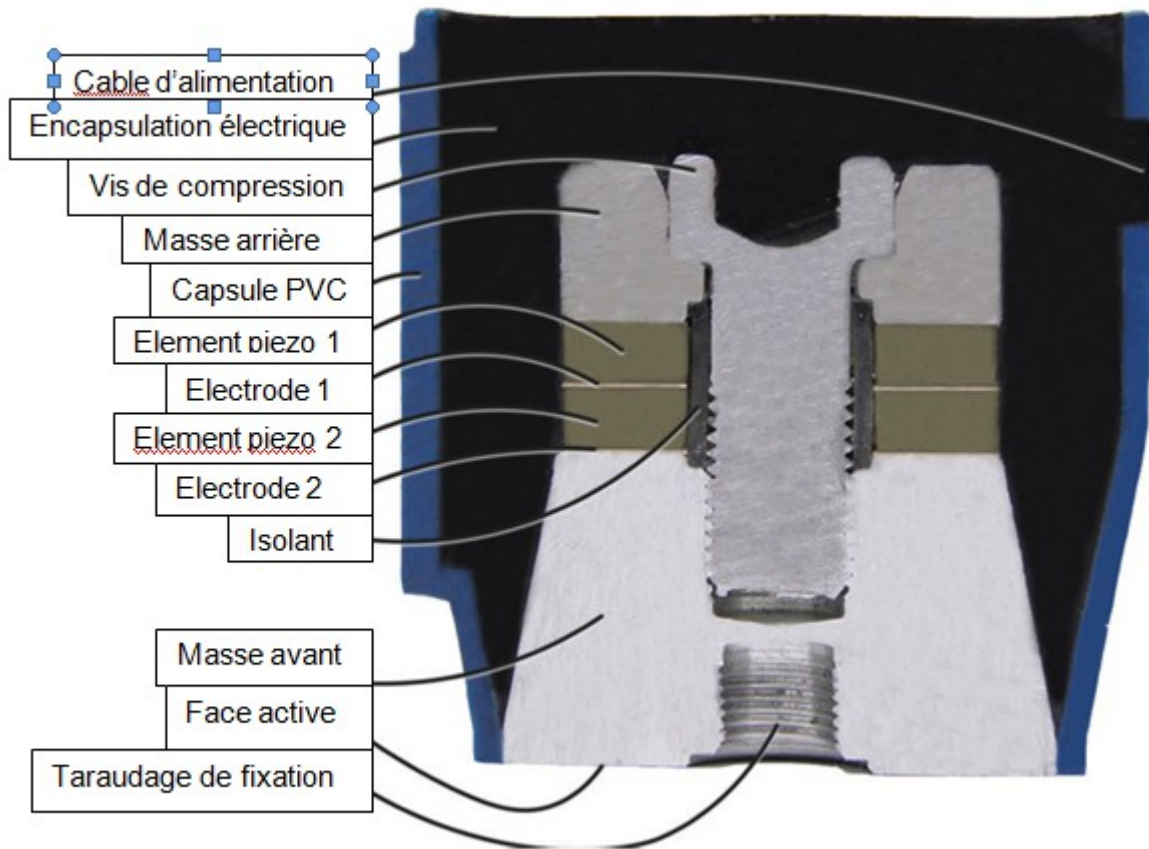
Voici une vue du type que j'ai installé :



Note: Image displays HULLSONIC20 Kit Contents.

On y voit le boîtier de commande, les deux émetteurs de coque (les cylindres verts), des socles en alu (jaune) à coller sur la coque à l'aide de la colle époxy bi-composant pour métal. Les émetteurs sont ensuite fixés sur les socles en les vissant. Le tube rouge est un mastic-colle à interposer entre les socles et les émetteurs afin de parfaire la continuité de transmission des trains d'ondes de l'émetteur à la coque. Enfin, trois câbles sont fournis (deux pour les jonctions boîtier – émetteurs et un pour alimenter le système en 12V) ainsi qu'un porte-fusible.

Voici une vue en coupe d'un émetteur :



Et maintenant, la pose.

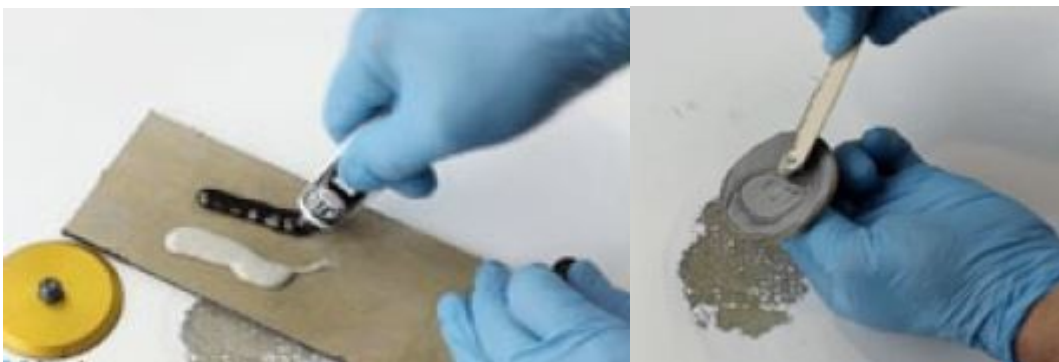
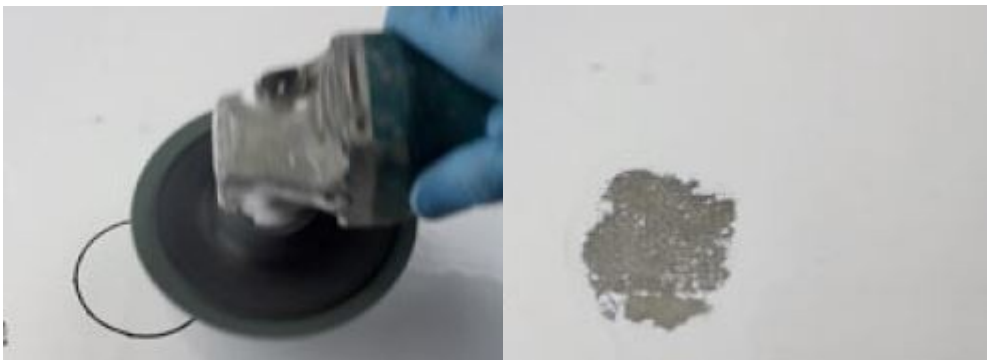
Avant tout, il faut être conscient de la consommation électrique de ce système. Il ne peut être efficace que s'il fonctionne H24 tant que le bateau est à l'eau car les micro-organismes ne connaissent pas le repos dans leur frénésie de colonisation. La vie est en suspension dans l'eau de mer et tout objet qui y est plongé est instantanément colonisé.

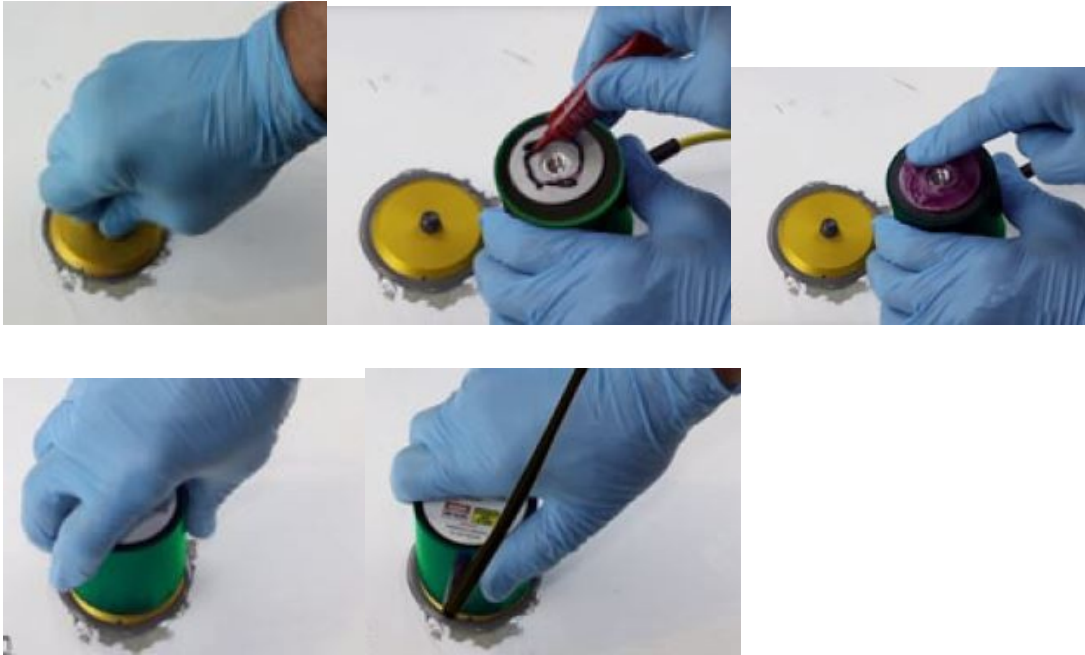
Le système consomme 220 mAh par émetteur installé, boîtier de contrôle inclus, soit pour mon système à deux émetteurs $220 \times 2 = 440$ mAh multiplié par 24h égale 10,56 ampères heure par jour à sortir du parc batterie. A ce train là, une batterie de 110 Ah au plomb sera fichue en cinq jours, d'où la nécessité d'un approvisionnement électrique extérieur ou intérieur au moyen de panneau solaire et/ou d'éolienne, la combinaison des deux étant la plus susceptible de produire H24. Sans cela, mieux vaut passer son chemin.

Voici la séquence de pose :

- Détermination de la position des émetteurs,
- Découpage de la surface de collage jusqu'au matériau nu,
- Nettoyage et dégraissage sérieux à l'acétone,

Collage des socles avec l'époxy bi-composant,
Vissage des émetteurs avec interposition du mastic-colle (le tube rouge),
Dépliage et pose du câblage et enfin pose du module de contrôle.





En ce qui concerne le positionnement des émetteurs, il y a quelques impératifs. Il n'existe pas de réponse universelle car il s'agit d'un problème acoustique et ceux-là sont particulièrement complexes. Personne ne peut prédire les nombreuses réactions locales en résonance de chaque partie de chaque coque.

- Les dépliants des fabricants sont tous d'accord pour ne pas les monter sur l'axe longitudinal du bateau. En effet, sur de petits bateaux, le fond se comporte structurellement comme une varangue en oméga inversé. Etant donné que c'est là que les épaisseurs sont maximum, les émetteurs auront plus de mal à faire vibrer le fond.
- Les émetteurs sont plus efficaces s'ils sont montés au plus profond, tout en respectant le critère précédent, également parce que s'ils se trouvent trop haut, l'eau à l'extérieur contient trop de bulles. Les émetteurs ont besoin d'une eau en écoulement peu turbulent pour être efficaces.
- Selon le même principe, évitez de monter un émetteur dans le remous d'une partie saillante sur la coque, ainsi que dans le sillage d'un tunnel de propulseur d'étrave.
- Ils doivent être posés à au moins 30 cm d'un obstacle à la propagation des impulsions. Ces obstacles sont par exemple des cloisons, des réservoirs, des renforts, des varangues, du tableau arrière, bref tout ce qui est trop rigide pour faciliter la dite propagation, incluant la ou les quilles.
- Ils ne doivent pas être montés sur un plancher, un faux plancher ou à un endroit où la coque est composée de matériau en sandwich, quels qu'en soient les matériaux.
- La protection de ou des hélices est délicate. En effet, les hélices forment une source de bruit qui peut perturber le fonctionnement du système. La source de perturbation est la cavitation des hélices. Sur un bateau, on sait que la

cavitation des hélices se produit du côté où les pales descendent. Il faut donc installer l'émetteur de l'autre côté et si possible en avant du plan de l'hélice.

- Les émetteurs ne doivent pas se trouver à moins de 30 cm de la sonde de vitesse ou de profondeur, sous peine de possibles indications erratiques voire perdues.
- Il faut éviter que les câbles de liaison avec le boîtier de commande cheminent dans le même conduit que celui d'installations facilement perturbables telles que VHF, radar, voies de communication inter-instruments. Dans le doute, mieux vaut tester le fonctionnement de tous ces appareils avant de refermer le câblage. Si les câbles doivent se croiser, cela doit se faire à angle droit.

Enfin, il faut bien répondre à la question « est-ce que ça marche vraiment ? »

En effet, les forums sont divisés sur la question. Cependant, il y a une quantité de raisons pour lesquelles ça peut ne pas marcher et je vous en fais une liste que j'aimerais la plus exhaustive possible.

1. La technologie. Depuis 2010 environ, des études sérieuses ont été réalisées et les fabricants en ont tiré beaucoup d'enseignements, surtout en ce qui concerne les fréquences, le dessin des trains d'onde, etc. On peut donc affirmer qu'il ne faut acheter que des systèmes conçus après 2013-2014, de technologie numérique, multifréquence et pilotés par microprocesseur.
2. Le matériau sur lequel les émetteurs sont collés doit être suffisamment dur et homogène mais permettre aux trains d'onde de se propager. Reportez vous aux précautions de position ci-dessus. Le polyester qui nous concerne sur les Biloups doit être exempt de bulles ou de défauts de stratification, par exemple avec des manques de résine et des zones à l'imprégnation douteuse. Là, on est obligé d'avoir une confiance aveugle en notre constructeur préféré.
3. La qualité du collage des émetteurs. Durant la pose, les points essentiels sont le décapage qui doit livrer une surface interne de coque plane et atteindre le matériau nu, la propreté de toutes les surfaces à encoller, donc chiffon et acétone sont indispensables. Pour le collage, il faut que la couche de colle époxy bi-composant soit très homogène, c'est-à-dire sans bulle aucune. Cela se passe au moment d'étaler la colle sur le socle et non sur la coque et l'application menée à l'aide de petits mouvements tournants, de manière à bien chasser tout l'air qui pourrait être emprisonné entre socle et coque. C'est une condition très sévère. Même chose pour le mastic-colle interposé entre le socle et l'émetteur.
4. Le nombre d'émetteurs. Un émetteur moderne est donné pour un rayon d'action de 5 m environ. Il en découle qu'un seul émetteur est théoriquement nécessaire pour un bateau de 10 m. Pour des raisons de marketing, les vendeurs proposent des solutions a minima qui peuvent s'avérer insuffisantes et décevoir les propriétaires. Une précaution consiste à ne pas choisir un système où un seul émetteur est contrôlé mais au moins deux, même si le deuxième n'est pas installé. Il existe aussi des systèmes capables de 4 émetteurs, mais pour des raisons de stratégie, je préfère deux systèmes de deux émetteurs car si un tombe en panne, on ne perd pas la totalité de l'efficacité. Il ne faut pas se faire d'illusion : la maîtrise totale de la propagation des ultrasons à travers une coque n'est pas accessible de façon précise, même aux plus grands labos de recherche. Dans le

cas des biquilles, il semble que les fabricants ne savent pas dire exactement combien d'émetteurs il faut, ceci est dû à la présence des quilles dont on ne sait pas trop de quelle façon elles pourraient faire obstacle à la propagation. J'ai même eu une réponse avec six émetteurs, soit comme sur un Yacht à moteur de 50 m. Je vais donc faire mon expérience avec deux émetteurs et voir ce qu'il convient de faire après une année. Mais je n'aurai pas de cas de conscience si je dois rajouter un système. Encore une fois, les économies de peinture et de manutentions auront déjà fait leur effet.

5. La position des émetteurs. La somme de toutes les conditions listées ci-dessus est déjà exigeante mais force est de reconnaître qu'il ne s'agit de rien moins que de l'empirisme. Le prochain développement devrait être un outillage associant des émetteurs temporaires, des hydrophones pour ultrasons et un boîtier de gestion qui déterminera si la position de chaque émetteur est optimale ou non. C'est en développement pour de gros navires mais encore incertain pour la plaisance.

Voici à quoi ça ressemble sur le Chtit Luma, avant les finitions. Un émetteur dans une cabine arrière babord et l'autre à l'avant de la quille tribord.



Il ne reste plus qu'à attendre les résultats concrets dans quelque mois. D'ici là, bons bricolages à tous.

Gérard Baletaud
Biloup 9 Chtit Luma