



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Antifouling à ultrasons

Généralités

Principes de fonctionnement

A qui est-ce destiné ?

Composition d'un système pour la plaisance

Règles d'installation

Est-ce que ça marche vraiment ?

Installation électrique

Critères de choix

Principaux fabricants

Exemples de prix

Conclusions



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Généralités

De nos jours, l'antifouling le plus courant consiste à déposer sur les coques une substance contenant du ou des poisons destinés à supprimer toute forme de vie qui se développerait à sa surface.

Différents produits tels que le TBT (Tri-Butyl-Etain) ont été progressivement interdits par suite de la nocivité observée sur la faune et la flore marines. Il existe d'autres composés de cuivre, de zinc de mercure et même de cyanure dont certains sont toujours en usage. L'effet recherché s'est transformé en un danger écologique à force de concentrations.

Chaque année qui passe voit la composition et l'efficacité des peintures empoisonnées diminuer, les interdictions de vente augmenter, ainsi que leurs contournements. Il n'est pas osé de dire qu'à court terme, certains lieux encore paradisiaques verront leur accès interdit aux bateaux protégés par une peinture toxique.

Le principe utilisé dans un antifouling à ultrasons consiste à faire de la surface de la coque un monde hostile où les micro-organismes ne voudront pas s'installer. Il va sans dire que les antifoulings à ultrasons ne relâchent aucun produit toxique dans l'eau.



## Principes de fonctionnement

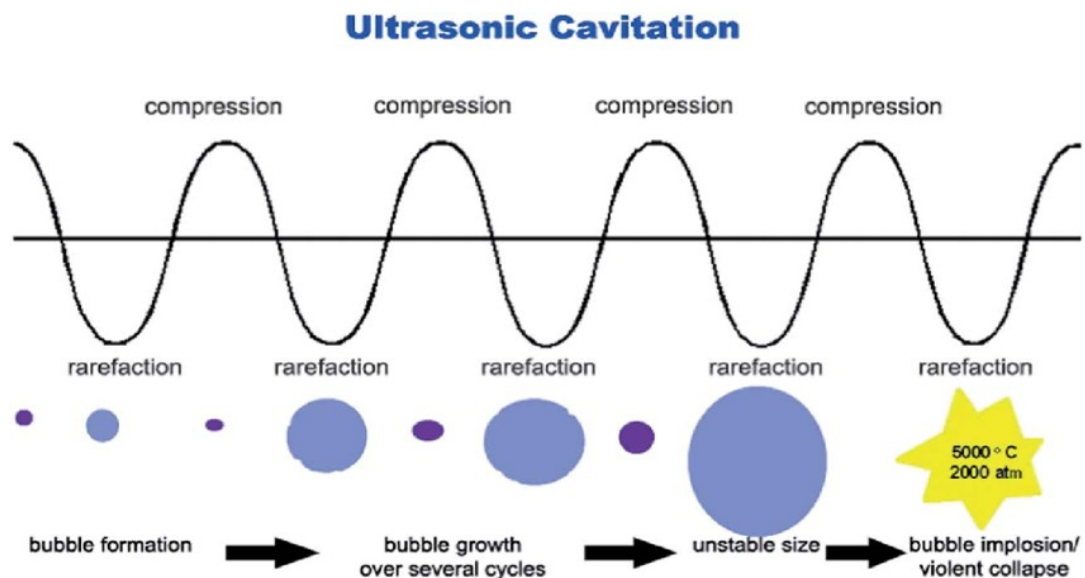
Un ou plusieurs émetteurs piézo-électriques mettent la surface de la coque en vibration à des fréquences élevées.

Les ondes mécaniques ont des formes sinusoïdales et les vibrations de la coque se transmettent à l'eau en provoquant à leur tour des séries alternatives de surpressions suivies de dépressions.

Une cavitation acoustique se produit lors des variations de pression déclenchées par des trains de vibrations ultrasoniques. Les ondes acoustiques se propagent dans la couche d'eau superficielle à la coque, sous forme de cycles alternant hautes et basses pressions. Les hautes pressions sont appelées « compressions » et les basses pressions sont appelées « raréfactions ».

On voit dans le schéma suivant que les bulles se forment à mesure que s'effectuent les cycles, jusqu'au moment de l'implosion. Ce phénomène est alors le siège de très fortes pression et température, à l'échelle microscopique. On parle de 5000°K en température et 2000 atmosphères en pression, ainsi que des jets d'eau à des vitesses de l'ordre de 100 m/s.

Ces conditions rendent l'environnement hostile et invivable aux micro-organismes qui sont peu enclins à s'y accrocher et se développer.

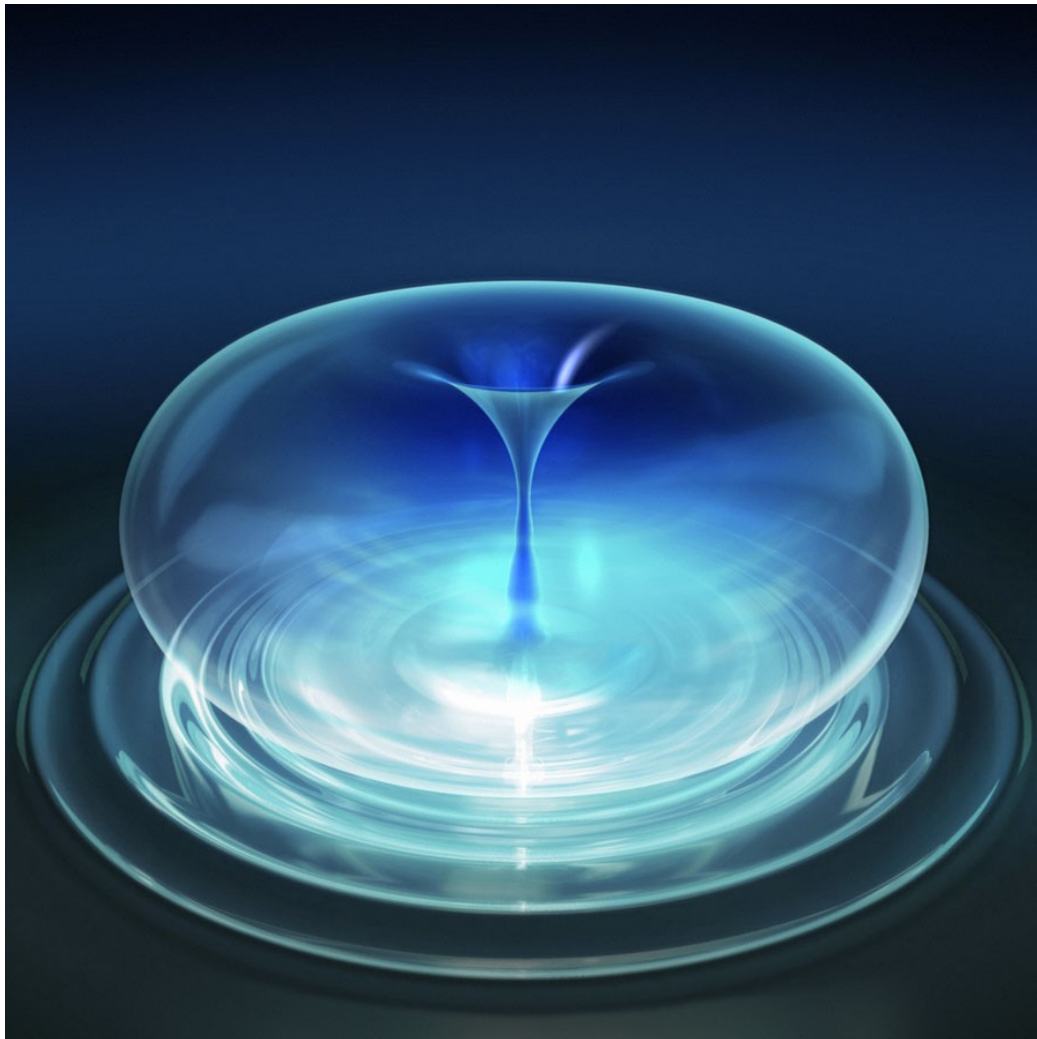




Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau

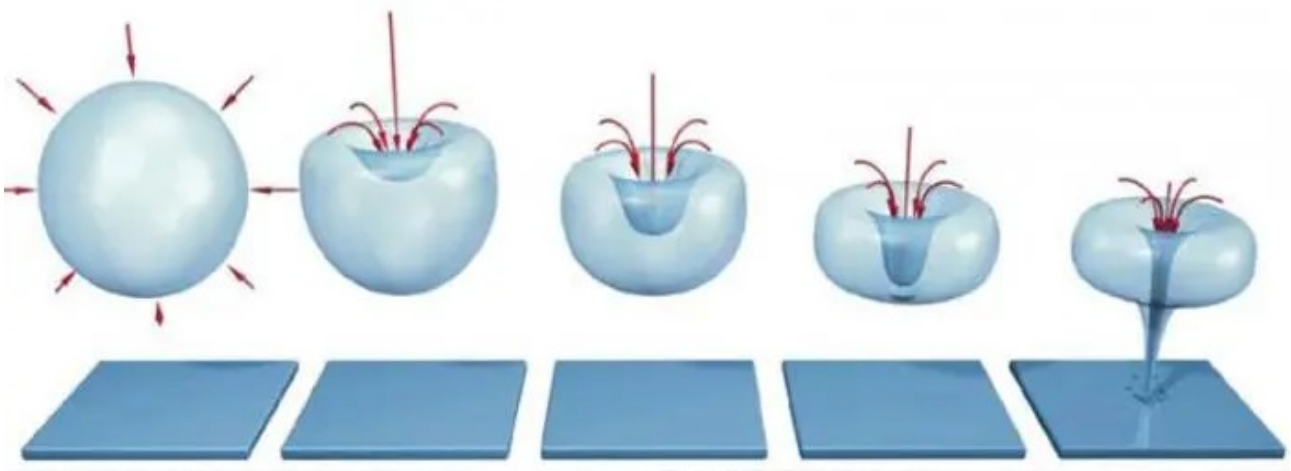


Pour que la cavitation acoustique ait lieu, un seuil de puissance doit être atteint. Ce seuil est de l'ordre de  $0.5\text{W}/\text{cm}^2$  à 20 kHz pour l'eau à pression atmosphérique. Voici une vue synthétique d'une bulle de cavitation :



Sur cette vue, on peut voir le début de la formation du jet.  
L'implosion d'une bulle de cavitation est un phénomène très violent qui provoque de façon locale des augmentations de température (jusqu'à  $5000\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), de pression (jusqu'à 2000 bars) et un jet d'eau à des vitesses atteignant 100 m/s.

La formation du jet d'eau renvoie une impulsion vers la coque. La figure suivante montre sa formation et son évolution.



Les chiffres cités montrent que selon les puissances mises en jeu, le phénomène de cavitation peut aussi bien nettoyer (cuves de nettoyage), éroder ou provoquer des arrachements de matières comme par exemple sur les hélices où d'ailleurs elle se produit naturellement.

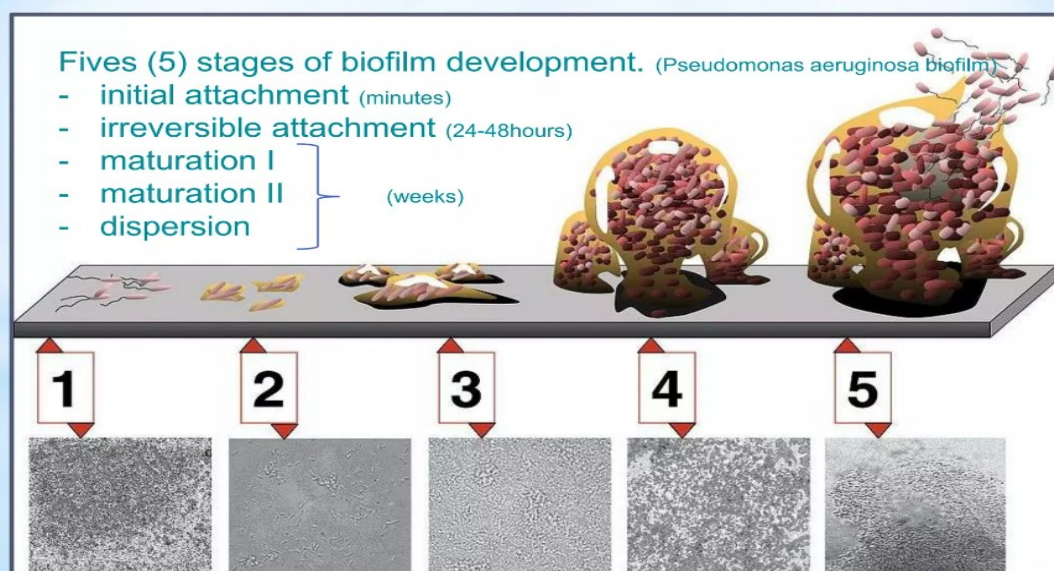
On trouve pour les AFU des fréquences d'émission sous forme de trains d'ondes à des fréquences variant de 20 à 200 kHz, les implosions selon le schéma ci-dessus se répètent alors à un rythme de 20.000 à 200.000 fois par seconde en produisant quelques millions de bulles d'implosion. Enfin, en plaisance, les émetteurs piézo-électriques ont des puissances de l'ordre de 4 à 30 watts et des fréquences de 20 à 50 kHz.

On imagine bien avec un tel environnement à quel point on peut mener la vie dure à des organismes microscopiques qui auraient l'idée de venir nicher sur nos coques. Bien entendu, les systèmes d'antifouling sont de puissance modeste et adaptée afin de ne pas affecter l'intégrité des matériaux. Ne vous attendez pas à voir des bulles remonter le long du bordé.

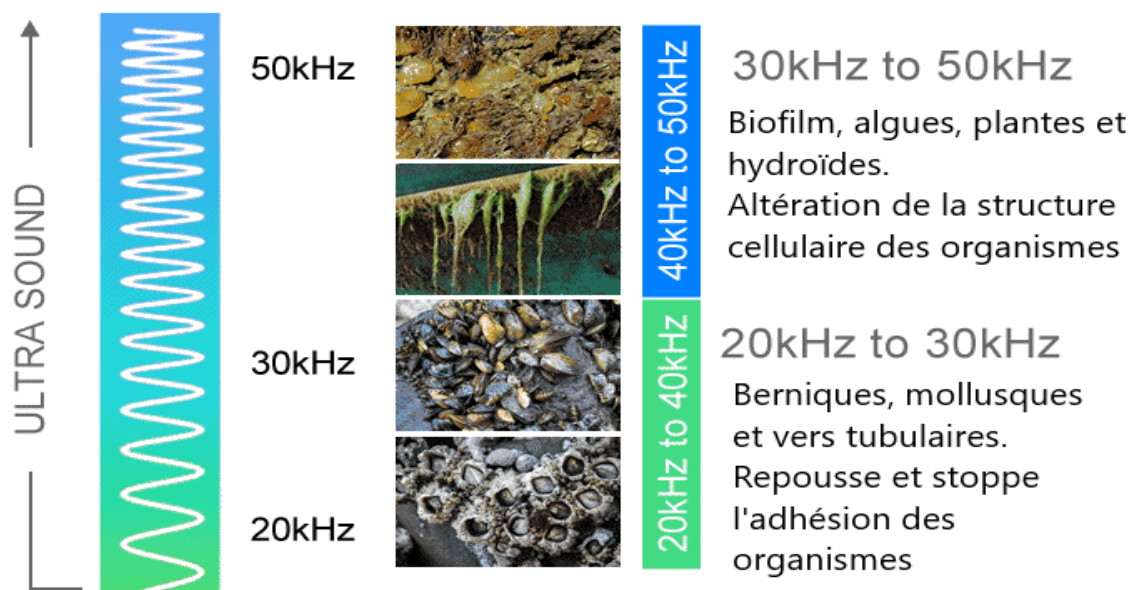
Il existe des dispositifs utilisant plusieurs fréquences sous forme de trains d'ondes aléatoires ou programmés, selon les usages et les fabricants. Ces formations de trains d'ondes sont gérées par un calculateur central.

Le fouling se forme dès les premiers instants de l'immersion. En effet, l'eau de mer est comme une «soupe» qui contient un incroyable grouillement biologique dont la finalité est de s'installer, s'accrocher, se développer, donner abri à d'autres formes et ainsi de suite jusqu'aux énormes rideaux d'algues et aux amas de mollusques en tout genre.

## Marine fouling



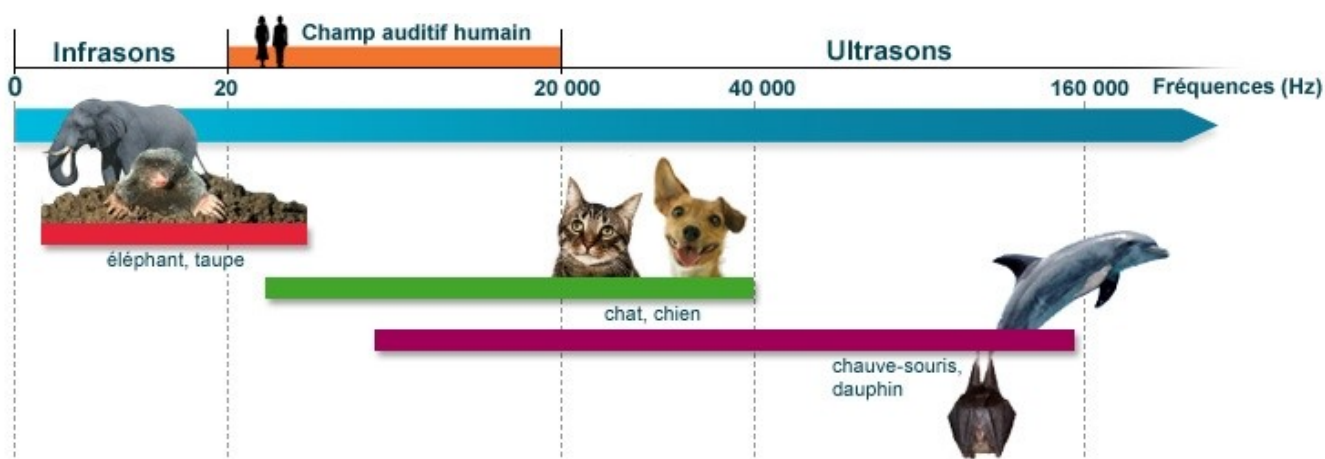
Selon les fréquences, on peut agir sur les organismes comme sur ce tableau :



On remarque sur le tableau de la page précédente que plus les fréquences sont élevées, plus les effets sont létaux, mais pas sur les mêmes organismes. C'est pourquoi les systèmes proposant la plus large gamme de fréquences seront les plus efficaces mais aussi les plus chers.

Bien des détracteurs des systèmes ultrasoniques les accusent d'être agressifs envers la faune marine, en particulier les mammifères qui les utilisent pour chasser, se reconnaître, communiquer ou pratiquer la géolocalisation.

Un mot d'abord sur les fréquences et les seuils d'audibilité.



En croisant les informations des deux tableaux précédents, on voit que les mammifères marins entendent donc les bruits des antifoulings à ultrasons. Pour autant, ces bruits sont-ils de nature à les blesser ?

La fréquence seule ne suffit pas à caractériser la nocivité des sons. La puissance sonore est exprimée en décibels (dB). Pour les humains, une voix normale est à 70 dB, un cri jusqu'à 88 dB. On sait que les dauphins peuvent émettre leurs propres ultrasons jusqu'à un niveau de 220 décibels mais il n'existe pas d'étude sur les seuils qui pourraient endommager leur système auditif. 220 dB, c'est cependant beaucoup quand on sait que les dommages irréversibles sur l'oreille humaine se produisent à partir de 108-114 dB.

Le nombre de décibels produits par une source sonore dépend de la puissance de l'émetteur et de la distance avec le lieu d'écoute. Enfin, l'atténuation de la source sonore dépend de la distance et du milieu dans lequel le signal sonore est émis. Dans l'eau de mer, l'atténuation est faible mais la propagation est diffuse et aléatoire en fonction de la température et de la salinité de l'eau. Le déterminer par le calcul est donc fort complexe.

Dans le cas des AFU, les constructeurs affirment que leurs produits ne sont pas nocifs pour la faune marine mais aucun n'a publié ni test ni étude venant documenter ces affirmations.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



On ne dispose que d'une information théorique selon laquelle la plus grande partie de l'énergie est absorbée par la coque car la cavitation doit se produire à sa surface.

Il existe cependant plusieurs études sur les effets des ultrasons sur la faune marine, au sens large, c'est à dire autant des mammifères que d'organismes microscopiques, larvaires ou mollusques. Ce genre d'études très centrées sur un sujet scientifique précis montrent un effet réel sur les micro-organismes et certaines parties du corps de diverses créatures. Elles confirment l'efficacité des AFU.

Les recherches d'études ne sont pas toujours centrées sur l'utilisation de l'antifouling à ultrasons mais il en existe de nombreuses qui dénoncent le bruit d'origine humaine dans les océans.

On trouve cependant beaucoup de contradictions dans ces études. Par exemple que des dispositifs à ultrasons destinés à repousser les déprédations des filets de pêche ou des enclos d'élevage indiquent finalement aux mammifères marins où se trouve la nourriture. On peut alors parler de nocivité car les animaux deviennent attirés par ce qui affecte leurs capacité à communiquer, naviguer et entretenir leur vie sociale.

Des expériences scientifiques menées dans des marinas montrent que des dispositifs AFU sur les bateaux n'ont aucune influence sur la circulation des poissons.

Quelques exemples glanés sur le net :

Ultrasonic antifouling devices negatively impact Cuvier's beaked whales near Guadalupe Island, México Jennifer S. Trickey, Gustavo Cárdenas-Hinojosa, Lorenzo Rojas-Bracho, Gregory S. Schorr, Brenda K. Rone, Eva Hidalgo-Pla, Ally Rice & Simone Baumann-Pickering. Les baleines ne passent plus dans leurs endroits habituels, occupés par les bateaux équipés d'antifouling à ultrasons.

Martins, R., Quintino, V., Rodrigues, A. M., & Freitas, R. (2019). In situ assessment of the effects of ultrasonic antifouling on sessile assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 517, 1-9. Difficultés de reproduction de certains mollusques à pédoncule. C'est un exemple d'expérience scientifique spécifiquement ciblé et produit en laboratoire. Sa pertinence à la navigation de plaisance est discutable.

Stephen Knobloch 1, Joris Philip 2, Sébastien Ferrari 3, David Benhaïm 4, Martine Bertrand 3, Isabelle Poirier 5. Évaluation des effets potentiellement néfastes des antifouling ultrasoniques sur le bar (*Centropristis striata*). *Marine Pollution Bulletin*, 96(1-2), 251-257. Croissance et survie non réduites par l'exposition aux ultrasons, l'analyse microbiologique utilisant la numération sur plaque et la méta-taxonomie basée sur le gène de l'ARNr 16S a montré une perturbation du microbiote des branchies et de la peau, y compris une augmentation des bactéries pathogènes putatives. Cela justifie des recherches supplémentaires sur les effets à long terme du contrôle ultrasonique de l'antifouling sur la santé et le bien-être des poissons d'élevage.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Getchell RG, George E, Rice AN, Malatos JM, Chambers BM, Griefen A, Nieder C, Rudstam LG. 2022. Effects of ultrasonic control devices on fish. *Lake Reserv Manage.* 38:240–255. Antifouling ultrasonique dans le lac Oneida, New York. Aucune altération histologique ou morphologique significative ou nuisible de la peau, des nageoires, des branchies ou des organes internes n'a été observée sur les poissons ou les têtards lors de l'examen des spécimens.

Legatzki, A., Burmeister, A., Prüß, A., & Liebezeit, G. (2020). The influence of ultrasonic antifouling systems on fouling assemblages on boats in a marina. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21603-21613. Pas de perturbation de la circulation des espèces habituelles.

Malavasi, S., Delle Monache, S., Scarpato, D., Ciofani, G., & Pieri, F. (2021). Evaluation of the acoustic field emitted by ultrasonic antifouling systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105623. L'étude a révélé que le champ acoustique émis par les systèmes antisalissures à ultrasons était inférieur au seuil d'audition de la plupart des organismes marins, ce qui suggère qu'il est peu probable que ces systèmes aient un impact significatif sur l'audition ou le comportement des organismes marins.

En conclusion, il semble que la nocivité des AFU se résume à être entendu des mammifères marins et provoquer leur éloignement des sources sonores. On trouve autant d'études scientifiques qui démontrent la nocivité des antifouling à ultrasons et autant qui démontrent le contraire.



Baleine de Cuvier dite baleine à bec



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## A qui est-ce destiné ?

Tout d'abord, c'est une question de matériau. L'AFU fonctionne le mieux sur des coques métalliques, alliage léger ou acier, très bien sur des coques en polyester monolithique, peu ou mal sur des coques en sandwich et pas du tout sur des coques en bois.

Ceci posé, on entend souvent une réflexion selon laquelle si ça marchait, les flottes commerciales, marchandes ou militaires en seraient équipées. Et bien c'est tout à fait le cas.



Petite et grande plaisance, marines marchandes et militaires sont déjà équipés ainsi que de nombreuses installations marines telles qu'éoliennes offshore, plate-formes pétrolières, installations portuaires, bref tout ce qui peut craindre les invasions ou les pertes de performance dues au fouling sont déjà clients des majors de la fabrication des AFU.

## Composition d'un système pour la plaisance



Un boîtier de commande qui :

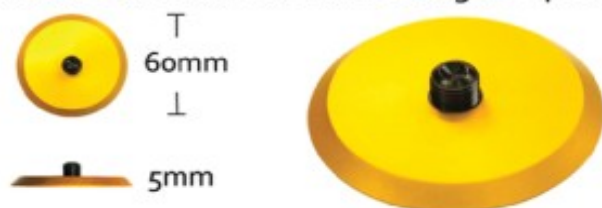
- gère l'alimentation électrique
- gère les émissions de trains d'ondes
- alimente un ou plusieurs émetteurs
- fournit interface de commandes et alarmes.

### CleanAHull Ultrasonic Transducer Marine Grade Anodised IP68 Enclosure

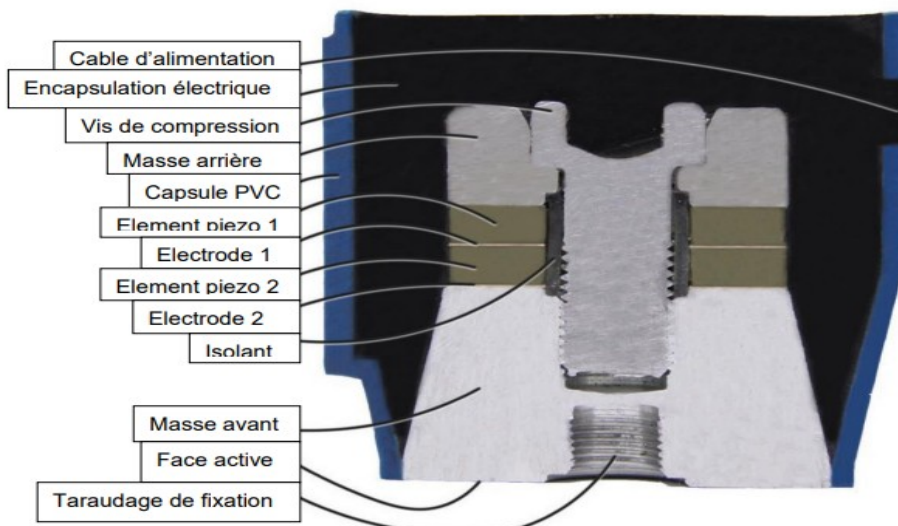


Un ou plusieurs émetteurs de vibrations montés à la surface interne de la coque. Ils sont vissés sur une platine, elle-même collée à la coque à l'aide d'une puissante résine à deux composants.

### Mounting Footprint Marine Grade Anodised Mounting Footprint



Voici une vue en coupe d'un émetteur. Les masses sont mises en mouvement à l'aide d'un système piézo-électrique. C'est une propriété des cristaux que de vibrer en fonction des fréquences appliquées en leurs extrémités.



Le même avec un trait de scie :



Puissance émise : de 6 à 50 watts en pointe. (50 W pour de gros bateaux)

Exemple de kit et son montage :



Note: Image displays HULLSONIC20 Kit Contents.

On trouve :

- Le boîtier de commande.
- 2 émetteurs de coques avec leur câble d'alimentation.
- 2 socles à coller à la coque.
- 1 tube de colle (tube rouge à gauche) pour assurer une bonne continuité entre l'émetteur et son socle
- 1 kit de collage, résine à 2 composants type Araldite pour métal.
- 1 porte-fusible avec fusible fourni.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Voici les étapes de mise en place :

Traçage de la position,  
avec socle d'interface.



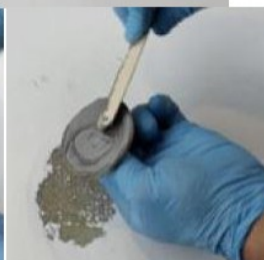
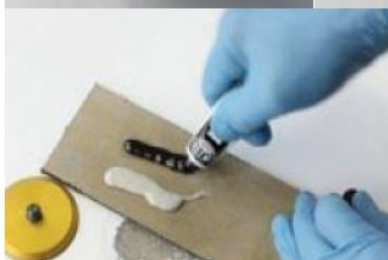
Sans socle d'interface  
(non conseillé)

Surfaçage, gelcoat éliminé  
pour adhésion.



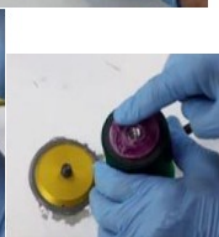
Planéité soignée.

Préparation de la colle à 2  
composants.



Enduisage du socle ou  
de l'émetteur

Collage en petits  
mouvements tournants pour  
éliminer les bulles d'air.



Un enduit spécifique (tube  
rouge) est placé entre  
l'émetteur et le socle .



Puis collage ou vissage de  
l'émetteur sur le socle.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Règles d'installation

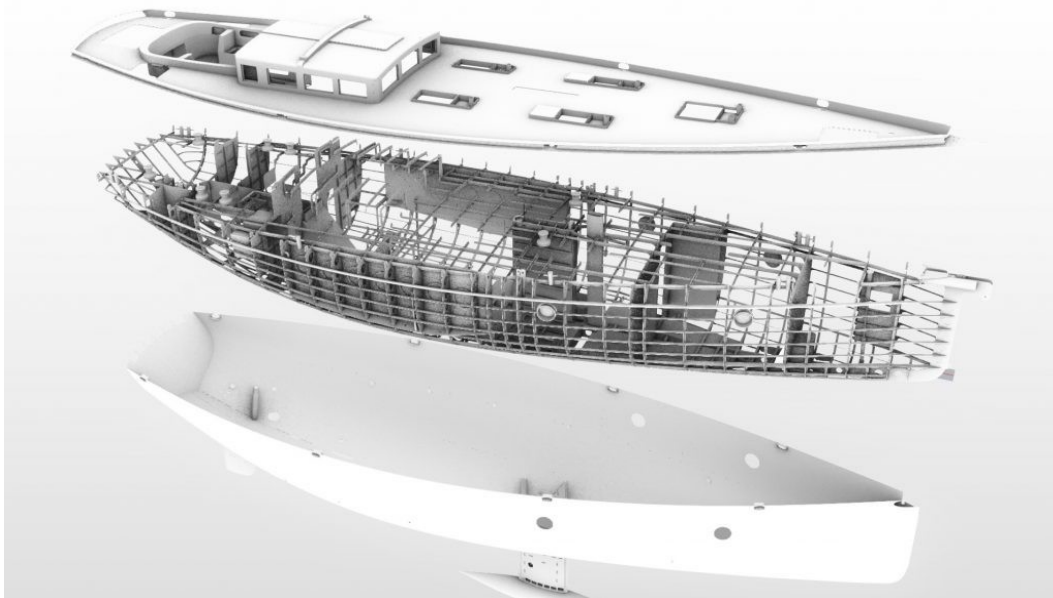
### Choix de l'emplacement des émetteurs

Une coque peut être une structure complexe. Un émetteur d'appareil AFU a besoin de faire vibrer la surface de la coque et doit être placé là où il est le plus facile de le faire : un tambour résonne mieux si on le bat en son centre.

Il y a donc un nombre d'endroits qu'il faut éviter afin de tirer le meilleur parti du dispositif, ce sont les zones structurales qui sont le moins aptes à vibrer. Il y a aussi des zones de bruits parasites (d'autres ondes acoustiques). Si c'est possible, il faut se tenir à l'écart d'une trentaine de centimètres des éléments listés ci-après.

La ligne médiane du fond de coque doit être évitée, elle se comporte comme une poutre et sa rigidité est très forte.

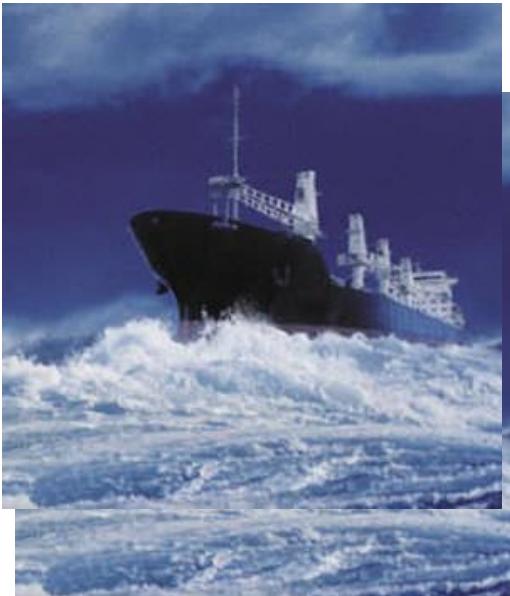
Il faut éviter les parties telles que renforts en tout genre, lisse ou couple, les réservoirs, les cloisons, les tableaux arrière, l'étrave



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, quelle qu'en soit la nature.

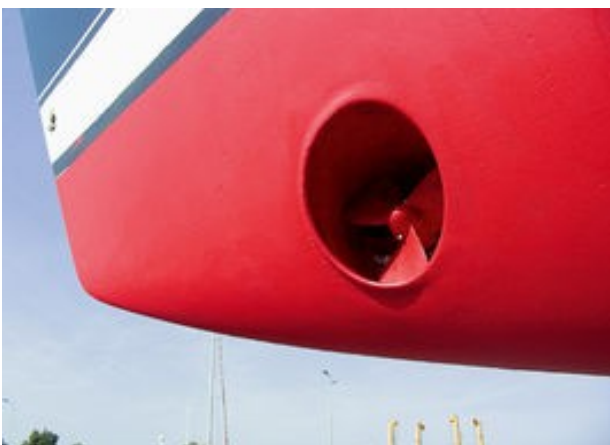


Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Pour les grands bateaux, l'état acoustique de l'eau n'est pas le même près de la surface qu'en profondeur. Les émetteurs sont moins efficaces dans un écoulement turbulent ou une eau chargée en air. On les éloignera de la flottaison tout en respectant une hauteur suffisante de la ligne de fond de quille.

Suivant ce principe, il faut aussi éviter de monter un émetteur dans le sillage d'équipements générateurs de turbulences.



La proximité des sondeurs et lochs peut provoquer des interférences ou des pertes d'indications. Encore une fois, la distance mini est de trente centimètres.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Une source acoustique de perturbation est la cavitation des hélices.  
Elle se produit du côté des pales descendantes.  
Il faut donc installer l'émetteur de l'autre côté et si possible en avant du plan de l'hélice.



Est-ce que ça marche vraiment ?

Le contexte est **technologique**. Depuis les années 2010+, des progrès et des enseignements ont été réalisés, le rôle des fréquences, le dessin des trains d'onde, et l'électronique numérique se sont affinés. On doit choisir des systèmes :

- conçus le plus récemment possible,
- de technologie numérique,
- multifréquence et pilotés par microprocesseur.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



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 citées précédemment.

Le polyester doit être exempt de bulles ou de défauts de stratification, par exemple avec des manques de résine et des zones à l'imprégnation douteuse.

Ne fonctionne pas sur le bois ni le sandwich.

La **qualité du collage** des émetteurs. Durant la pose, les points essentiels sont :

- le décapage, surface interne de coque plane et matériau à nu, propreté de toutes les surfaces à encoller.

- collage, couche de colle époxy bi-composant très homogène et sans bulle.

C'est une condition très sévère.

- même chose pour le mastic-colle entre socle et émetteur.

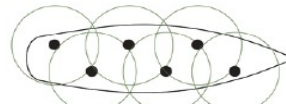
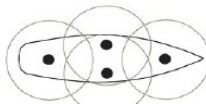
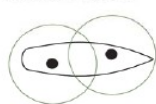
Le **nombre d'émetteurs**. Un émetteur moderne couvre un rayon d'action de 5 m environ.

Un seul émetteur serait théoriquement nécessaire pour un bateau de 10 m.

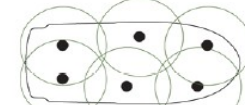
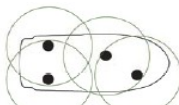
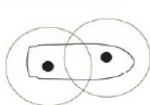
Attention au marketing qui ne prend que le rayon comme critère et minimise l'investissement.

#### TRANSDUCER POSITIONING – BY VESSEL TYPE

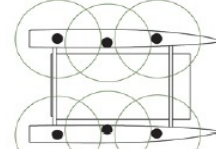
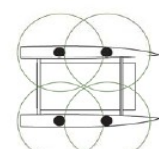
##### SAILING YACHT



##### POWER BOAT



##### CATAMARAN



Up to 50ft. (15 metres)  
1x Sonihull Duo

50-70ft. (15-21 metres)  
2x Sonihull Duo

60-100ft. (18 to 30 metres)  
3x Sonihull Duo



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Est-ce que ça marche vraiment ?

Quelques témoignages glanés sur le net :



Ceci est un échangeur de température d'huile moteur. La vue en dessous, le même après un an. Le propriétaire dit que le refroidissement n'était que peu altéré mais la consommation très améliorée. L'état de la coque est également bien moins sale.





Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Vue en plongée après 18 mois sans sortie. On voit que le simple passage de la main enlève les salissures sans effort.



Coque de trawler australien après 14 mois d'immersion.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Voici un cas en France où l'AFU a été installé plus de six mois après le carénage et le bateau resté 3 ans dans l'eau.



Noter que la partie nettoyée ne l'a été qu'avec une éponge.

En revanche, un sail-drive n'a pas pu bénéficier des effets vibratoires puisque, par conception, il est isolé de la coque par des silent-blocks



Il aurait fallu installer un émetteur sur le sail-drive comme sur la photo de droite.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Installation électrique

Elle n'est pas complexe. Il faut cependant éviter que les câbles de liaison entre les émetteurs et le boîtier de commande cheminent dans le même conduit que ceux d'installations facilement perturbables telles que VHF, radar, multiplexeurs et plus généralement la 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.

Un point important : la consommation électrique.

Le système à ultrasons doit bien entendu rester alimenté tout le temps que la coque est immergée. Cela suppose une capacité électrique et des ressources de recharge adaptées, mais pas si extraordinaires. L'exemple ci-dessous correspond à un appareil à deux émetteurs comme celui montré pour décrire la constitution du système.

Consommation électrique : 220 mAh en moyenne par émetteur (donnée constructeur). La consommation est cependant variable selon l'activité des émetteurs.

Soit  $220\text{mAh} \times 24\text{h} = 5,28\text{ Ah}$  par jour,  $10,56\text{ Ah}$  pour 2 émetteurs. C'est la quantité d'électricité qui sera retirée chaque jour de la capacité totale de la batterie.

Un panneau solaire de 100W produit théoriquement  $100\text{W}$  divisés par 12 volts = 8,33 A. En réalité, plutôt 4 A pour rester conservatif.

Hiver 2022 en Finistère : 313h d'ensoleillement, divisés par 90 jours, soit 3,5 h par jour. Source Météo France.

Durant un tel hiver, le panneau de 100W produira chaque jour  $4\text{A} \times 3,5\text{ h} = 14\text{ Ah}$ .

Avec une consommation de  $10,56\text{ Ah}$ , on a donc une marge substantielle.

Un système bien conçu possède une protection de la batterie en se coupant si la tension passe sous un seuil prédéterminé.



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Critères de choix

Résumons les critères de choix pour sélectionner marque et modèle :

- Conception récente.
- Électronique de pointe, le top avec fréquences variables.
- Les origines compétentes : Australie, UK, US, (Slovénie, Scandinavie)
- Avec un kit de pose fourni.
- Avec option de support pour saildrive ou autre propulsion.
- Avec protection de batterie + sleep mode.
- Avec socle d'interface émetteur-coque.

## Principaux fabricants



Australie



Royaume Uni



Royaume Uni (gros bateaux)



Royaume Uni



Pays-Bas



Slovénie



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



Italie



Belgique

Le fabricant australien Globatech apparaît sous des noms différents selon les pays.

## Exemples de prix

Exemples glanés sur Ebay : (novembre 2023)

2 émetteurs



### ISONIC ANTIFOULING SYSTEM

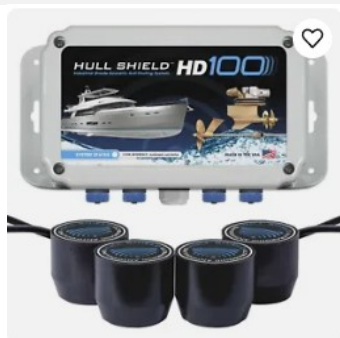
Neuf | Particulier

**1 300,00 EUR**

Achat immédiat

Livraison gratuite

4 émetteurs



### Hull Shield HD100 antisalissure et gousSES

Neuf | Pro

**1 876,23 EUR**

Achat immédiat

+95,80 EUR (livraison)

de États-Unis

Suivi par 30 personnes

2 émetteurs



### 2 Channel Electronic Ultrasonic

Australian Made. HullSonic. 2 Year War

Neuf | Pro

★★★★★ [1 note du produit](#)

**937,37 EUR**

ou Faire une offre

+36,08 EUR (livraison)

de Australie

132 vendus



Association des Usagers du Port  
de Plaisance de Concarneau



## Conclusions

L'antifouling à ultrasons est efficace mais selon l'utilisation, il nécessite un complément tel qu'un antifouling classique ou un revêtement hydrophobe ou un nettoyage à la brosse ou à l'éponge lorsque la coque navigue très peu. Dans le cas d'un revêtement hydrophobe complémentaire, il n'est nul besoin de substances toxiques. Ces dernières ont une durée d'efficacité limitée alors que l'AFU tourne en permanence pendant des années.

Une coque rapide, un bateau à moteur, des sorties fréquentes vont permettre l'enlèvement naturel des dépôts.

Le carénage est autorisé si aucun antifouling peinture n'est appliqué.

Au minimum, l'AFU peut économiser une sortie d'eau sur deux, ce qui amortit déjà tout ou bonne partie de l'investissement.

Pour toute question ou tout commentaire : [auppc29@gmail.com](mailto:auppc29@gmail.com)