

Chapitre 4 :

Structures d'élevage en mer

I- Les cages :

I-1- Historique

Les premières cages d'élevage en mer avaient pour objectif de maintenir les poissons vivants après la capture. Ces cages, de type enclos ou flottantes, étaient fabriquées à partir de matériaux naturels locaux comme le bambou et étaient utilisées dans des zones peu profondes telles que les lacs, les lagunes et les littoraux. Courantes en Asie, elles couvraient souvent de vastes zones, notamment dans des régions comme le delta du Mékong, la Chine, la Malaisie et Singapour.

Après les années 1950, le développement des structures d'élevage s'est concentré dans des zones très protégées. Selon les espèces et les caractéristiques des sites d'implantation, différents types de structures ont vu le jour, alliant matériaux traditionnels et modernes, avec des niveaux d'intensification variés. En Asie et en Afrique, de nombreuses structures traditionnelles sont encore utilisées, bien qu'elles aient été partiellement modernisées.

L'essor de l'aquaculture marine a été un moteur clé des avancées technologiques, notamment grâce au développement de l'élevage du saumon en Europe. Partant des fjords très protégés, les cages ont évolué pour s'adapter à des conditions de plus en plus exposées. En Méditerranée, des fermes pionnières ont émergé sur des sites bénéficiant de conditions favorables. Par exemple, dans le sud de la Tunisie en 1985, la première ferme méditerranéenne importante d'élevage en cages pour le loup et la daurade a utilisé des cages norvégiennes sur un site en mer ouverte.

Ces innovations ont permis d'améliorer les performances de l'aquaculture tout en s'adaptant aux contraintes des environnements marins variés.



Figure 1 : Cage de bambou fixe

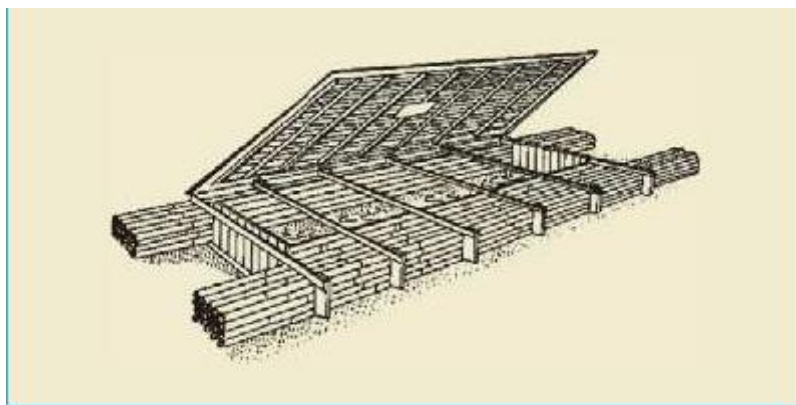
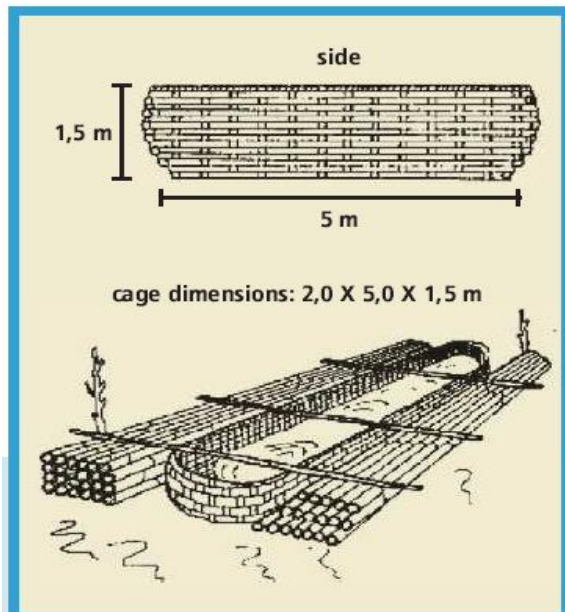


Figure 2 : Cage flottante primitive.



Figure 3 : Activités d'élevage en cage regroupées et à grande échelle en Asie.



Figure 4 : Vu de Mari Mirna, fin des années 70 début des années 80.



Figure 5 : Première cage flottante "Polar Circle" en 1974.

La Première ***Polar Circle*** fait référence à l'introduction, en 1974, de la première cage flottante en polyéthylène haute densité (PEHD) spécialement conçue pour l'aquaculture en mer. Ce type de cage, connu sous le nom de Polar Circle, a été développé en Norvège et a marqué un tournant dans le domaine de l'élevage marin.

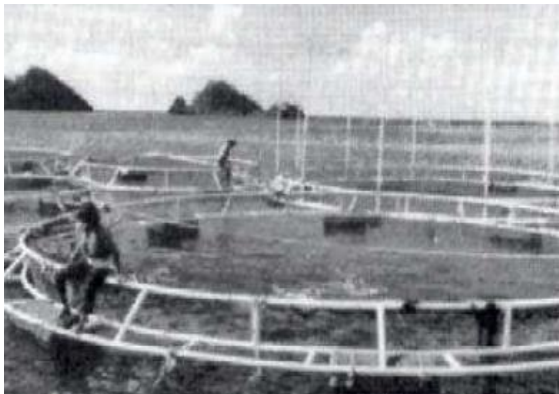
Ces cages circulaires étaient robustes, résistantes aux conditions marines difficiles et pouvaient être utilisées dans des zones exposées, contrairement aux cages traditionnelles en bois ou en bambou. Elles ont été initialement conçues pour l'élevage du saumon, une industrie en plein essor en Norvège à cette époque. Grâce à leur durabilité et leur facilité d'entretien, elles ont rapidement été adoptées à l'échelle mondiale, devenant un standard dans l'aquaculture moderne.



Cage rigide



Cage flottante fluviale



Cage flottante précurseur



Cage flottante avec poche mobile

Figure 6 : Les premiers types de cages flottantes en aquaculture.

L'aquaculture en cages est devenue une méthode courante pour élever presque toutes les espèces aquacoles, offrant des coûts d'investissement et d'exploitation nettement inférieurs à ceux des systèmes terrestres. Le développement de la mariculture offshore permet désormais l'utilisation sécurisée de cages flottantes ou submersibles pour l'élevage de poissons marins, même dans des zones exposées. Ces cages sont installées dans des environnements

bénéficiant de forts courants et d'une meilleure qualité d'eau, réduisant ainsi l'impact écologique et garantissant la production d'un produit sain et de haute qualité.

I-2- Caractéristique d'une cage :

- C'est une structure flottante supportant un filet,
- L'enceinte doit être adaptée à l'espèce élevée,
- L'enceinte doit être adaptée à la croissance de la biomasse contenue,
- Elle doit être de forme stable pour éviter le stress et les blessures sur le cheptel,
- Elle doit permettre le meilleur échange possible entre intérieur et extérieur, pour assurer un bon taux d'oxygénation et une bonne exportation de la matière,
- Les cages doivent avoir une flexibilité et une résistance suffisante vis-à-vis des conditions de vent et de mer du site.
- Les cages sont conçues pour résister aux forces statiques (poids, fouling, chocs) et dynamiques (courants, marées, vagues, vents) agissant sur la structure et son système de fixation, garantissant ainsi leur stabilité et leur intégrité.
- Elles disposent, ou pas, d'aire de travail et de circulation plus ou moins sécurisée, type passerelle, rambarde, plateforme, tubes avec renforts,...
- Elles doivent être conçues pour limiter les coûts de production et la maintenance.

I-3- Choix des cages.

Le choix des cages en aquaculture dépend de plusieurs critères afin de garantir leur efficacité et leur adéquation aux conditions spécifiques de l'élevage :

- ✓ L'emplacement : qui doit être pris en compte en fonction des caractéristiques de l'eau (profondeur, qualité et dynamique des courants).
- ✓ L'espèce ou les espèces à élever : Les besoins des poissons en termes de taille de cage, type de structure et conditions environnementales influencent le choix
- ✓ Le type de cage : flottante, submergée, « submergeable », en fonction des conditions maritimes et de la profondeur de l'eau.
- ✓ Les types d'ancrages et autres éléments de fixation: Les choix d'ancrages, flotteurs, bouées, cordages, raccords, ancres, corps mort, etc doivent être adaptés pour garantir la stabilité de la cage face aux forces marines.

- ✓ Les espaces de travail « périphériques » : Il faut prévoir suffisamment d'espace autour de la cage pour effectuer des opérations d'entretien, de surveillance et de récolte des poissons.
- ✓ Les bateaux de service et de travail : qui sont nécessaires pour la gestion de l'élevage, tels que l'alimentation, le nettoyage et la surveillance des cages.
- ✓ L'ancrage commun ou individuel : Il s'agit de choisir entre un système d'ancrage partagé pour plusieurs cages ou un ancrage individuel pour chaque cage.
- ✓ La taille, la profondeur et la maille des filets à utiliser, et par conséquent leur poids ainsi que la matière et le type de maille.
- ✓ Les moyens destinés à garder à l'enceinte une forme et un volume constant compte tenu des courants et des vagues.
- ✓ Le type de protection anti oiseaux : Un système de protection est essentiel pour éviter que les oiseaux ne perturbent l'élevage en cherchant à capturer les poissons.
- ✓ Le matériel de connexion : Il faut utiliser des matériaux adaptés pour relier tous les éléments de la cage de manière sécurisée et durable.

En complément des critères de sélection des cages, ces éléments permettent d'affiner la planification et la gestion globale de cette installation aquacole :

- 1) Moyens anti-prédateurs marins ou humains (filets) : Il s'agit de mesures pour protéger les poissons des prédateurs marins (comme les phoques ou les requins) et des intrusions humaines (par exemple, pour éviter le vol). Des filets spéciaux sont souvent utilisés à cet effet.
- 2) Composition et rapidité du biofouling : Le biofouling désigne l'accumulation d'organismes marins (algues, coquillages, etc.) sur les cages. Sa composition et sa vitesse de formation influencent l'entretien nécessaire et la durabilité des cages.
- 3) Taille, origine et spécificités des alevins : La gestion des alevins (jeunes poissons) dépend de leur taille initiale, de leur origine (élevage ou capture sauvage), et de leurs besoins spécifiques pour garantir leur croissance optimale.
- 4) Tailles prévues pour les ventes: Les tailles des poissons au moment de leur commercialisation influencent la durée de l'élevage et les ressources nécessaires.
- 5) Capacité totale de production (présente et future) : Cela correspond à la quantité totale de poissons que l'installation peut produire actuellement, ainsi que les possibilités d'expansion à l'avenir.

- 6) Biomasse par unité et par mètre cube : La biomasse correspond à la quantité totale de poissons dans une cage ou par unité de volume d'eau. Une gestion équilibrée est essentielle pour éviter la surpopulation et préserver la qualité de l'eau.
- 7) Plan de production annuel: Il s'agit d'une planification détaillée de la production, incluant les cycles d'élevage, les récoltes et les ventes prévues pour l'année en cours et les années à venir.
- 8) Biomasse moyenne mensuelle et maximale annuelle: Ces indicateurs permettent de surveiller la charge biologique sur l'installation et d'ajuster les pratiques d'élevage pour éviter des dépassements nuisibles à l'environnement ou à la santé des poissons.
- 9) Distance au port de service: La proximité du port facilite l'accès pour les bateaux de service, le transport des poissons et l'approvisionnement en matériel ou en nourriture.
- 10) Expérience du personnel et de l'encadrement: La compétence et l'expérience de l'équipe sont cruciales pour garantir le bon fonctionnement des installations, la gestion des imprévus et l'optimisation des performances.

Remarque :

L'aquaculture moderne tend à utiliser des cages de plus en plus grandes afin de réduire les coûts d'investissement et d'exploitation par mètre cube d'eau utilisé. Ces structures, bien que nécessitant des investissements initiaux plus élevés, permettent d'optimiser la production. Par ailleurs, leur exploitation s'appuie sur des équipements de plus en plus sophistiqués et technologiquement avancés, comme des systèmes automatisés de surveillance et de maintenance. Enfin, ces cages offrent une meilleure tenue en mer, avec une résistance accrue aux conditions maritimes difficiles, garantissant ainsi une exploitation plus sécurisée, même dans des zones exposées.

I-4- Différents types de cages :

L'élevage intensif de poissons en pleine eau peut se réaliser dans deux types de structures : les cages flottantes et les cages immergées.

I-4-1- cages flottantes :

Les trois éléments essentiels d'une cage flottante sont:

- La structure de flottaison
- Le filet, ou enceinte
- Le système d'amarrage

a- la structure de flottaison (Ponton).

La structure de flottaison (fig.7) dans les cages circulaires se compose principalement d'un anneau (couronne circulaire) qui soutient également le filet d'élevage. Cette structure est essentielle, car elle constitue la base de toute la cage. Elle est généralement fabriquée en matériau plastique, formée de deux tubes en HDPE (Polyéthylène à haute densité) noir stabilisé contre les UV. L'épaisseur des tubes varie entre 18,7 et 27,8 mm, avec un diamètre de 315 mm. À l'intérieur des tubes, des cylindres de polystyrène expansé de 250 mm de diamètre sont insérés pour garantir une flottabilité optimale, même en cas de rupture du tube. En général, deux anneaux sont utilisés, bien que dans certains cas, on puisse en avoir trois. Ces anneaux jouent un rôle crucial en supportant le système de raccordement à l'amarrage. Leur flottabilité, qui varie généralement entre 40 et 120 kg par mètre linéaire, signifie que chaque mètre de l'anneau peut compenser ou supporter un poids équivalent dans l'eau. Cette capacité assure la stabilité de la structure et lui permet de rester en surface, même lorsqu'elle est chargée par les filets, les poissons ou d'autres équipements.



Figure 7. Image d'un ponton d'une cage flottante à deux et trois anneaux.

Une structure de flottaison plus grande facilite les travaux sur la cage, comme le changement de filet, le nettoyage, le remplacement du filet anti-oiseaux, le ramassage des poissons morts et l'alimentation.. Les cages circulaires ont généralement un diamètre compris entre 20 m et 120 m. De plus, des pièces spécifiques assurent une meilleure cohésion entre les anneaux, tout en offrant de l'élasticité et en soutenant les rambardes.

- **La rambarde (ou couronne supérieure):**

C'est est une partie essentielle de la structure de la cage flottante. Elle est constituée d'un tube en HDPE (Polyéthylène à haute densité) stabilisé contre les UV pour résister aux conditions environnementales. Ce tube, d'une épaisseur de 10 mm et d'un diamètre de 110 mm, possède la même circonférence que la couronne de flottaison. Positionnée au-dessus de cette dernière, la rambarde renforce la structure globale et peut également servir de support pour des filets de protection ou comme barrière de sécurité (fig.8).



Figure 8. La rambarde d'une cage flottante.

- **Les chandeliers:**

sont fabriqués en HDPE rotomoulé avec une forme triangulaire et une épaisseur supérieure à 8 mm, ce qui les rend résistants aux effets de la houle. Pour éviter la dilatation due aux variations de température, ils sont remplis de mousse de polyuréthane. Les chandeliers peuvent également être fabriqués dans d'autres formes, soit soudés, soit rotomoulés, selon les besoins. Ils soutiennent aussi la rambarde supérieure de la cage. Le nombre de chandeliers utilisés dépend de la taille de la cage, garantissant ainsi sa stabilité en fonction de ses dimensions (fig.9).



Figure 9. Les chandeliers d'une cage flottante.

Remarque:

La structure de flottaison est soumise à deux types de forces :

1. **Forces statiques:** Ce sont des forces constantes qui agissent sur la structure en permanence, comme le poids de la cage, des filets, des poissons, et des équipements.
2. **Forces dynamiques :** Ce sont des forces variables qui changent selon les conditions, comme le mouvement des vagues, les courants marins, le vent ou les manipulations effectuées sur la cage.

Ces deux types de forces influencent la stabilité et la durabilité de la structure.

En plus, la structure de flottaison peut être affectée par le biofouling, un phénomène où des organismes marins, comme les algues et les coquillages, s'accumulent sur les surfaces immergées. Certains matériaux, comme l'acier ou les matériaux synthétiques, sont

particulièrement sensibles à ce problème. De plus, certains sites favorisent un biofouling plus rapide que d'autres, ce qui peut augmenter rapidement le poids supporté par la structure et accroître les risques de dégradation ou d'instabilité. Pour limiter ce phénomène, on peut utiliser des matériaux comme la fibre de verre ou appliquer des traitements antifouling (anti-encrassement) sur la structure.



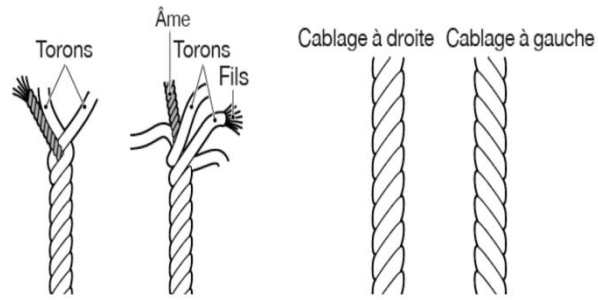
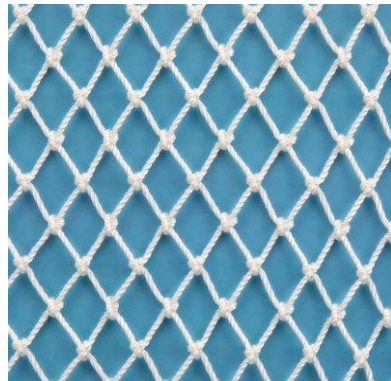
Figure 10. Structure de flottaison exposée au biofouling.

b- Le filet.

Les filets, qui constituent l'enceinte d'élevage des poissons, jouent un rôle crucial dans les cages flottantes. Ils sont généralement fabriqués en nylon à haute ténacité ou en fibre Dyneema (polyéthylène haute densité), une alternative plus légère qui offre une résistance identique, mais plus coûteuse (2 à 3 fois supérieur). Les mailles, carrées ou hexagonale, sont conçues sans nœuds, ce qui limite les blessures sur la peau délicate des poissons.

Les filets se distinguent par leurs caractéristiques essentielles qui se résument comme suit:

1. Matériau et Structure: Les filets peuvent être tressés ou câblés, en mono-filament ou multi-filament, et avec ou sans nœuds. Les filets sans nœuds, bien que plus légers et moins sujets au biofouling ou à l'abrasion mécanique, s'usent plus rapidement que ceux avec nœuds. Le nylon reste le matériau privilégié pour son rapport qualité-prix, tandis que le polyéthylène, bien que plus économique, offre des performances moindres.

**Filet Tressé****Filet câblé****Filet avec nœuds en Nylon****Filet avec nœuds en Nylon****Filet en tresse de nylon**

monofilament

multifilament

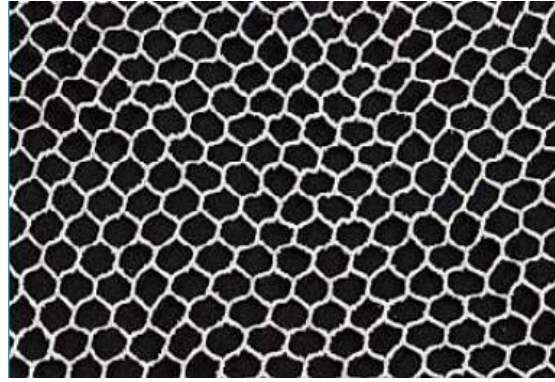
2. Taille, forme et volume: La taille, la forme et le volume des filets varient en fonction de l'espèce élevée et des stratégies d'élevage. La taille des mailles, en particulier, joue un rôle crucial dans le maintien de bonnes conditions d'élevage, car une maille suffisamment large permet un renouvellement optimal de l'eau. À titre d'exemple :

- 4 mm à 12 mm pour les alevins (jusqu'à 20 g),
- 12 mm à 16 mm pour les poissons de 20 à 150 g,
- 16 mm à 24 mm pour les poissons de plus de 150 g.

En termes de volume, les filets destinés aux bars ou daurades dépassent souvent 5 000 m³, tandis que ceux pour le saumon atteignent fréquemment 10 000 m³ en Norvège.



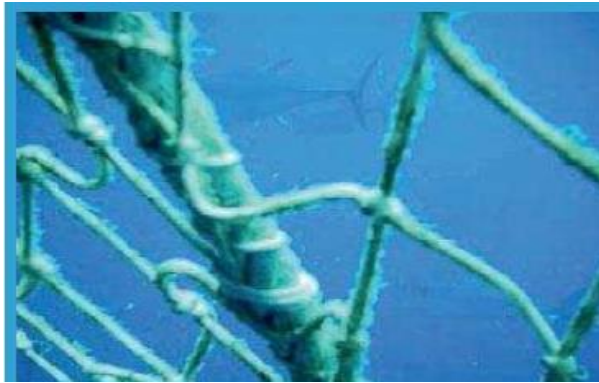
Mailles en position naturelle



Mailles hexagonale



Mailles de filet sous tension



Mailles ouvertes.

3. Maintenance et Encrassement: Le biofouling (encrassement) peut réduire la circulation de l'eau à travers les filets, dégradant ainsi les conditions d'élevage. En été, lorsque le biofouling est plus rapide, un changement fréquent des filets est nécessaire.

4. Fixation et Lestage : Le filet est fixé au ponton à l'aide de piquets et crochets, et lesté par un cadre en PVC ou des anneaux spécifiques (sinker tube), des bouts plombés ou des poids attachés. Le système de lestage joue un rôle clé dans le maintien de la forme cylindrique de la cage et dans la stabilisation du filet face aux forces exercées par les courants, la houle et les tensions mécaniques.

Remarque : L'anneau de lest (ou **sinker tube**) est un tube en HDPE attaché à l'extérieur du périmètre du fond du filet. Ce tube est rempli avec une chaîne métallique pesant entre 10 et 20 kg par mètre, selon les besoins spécifiques. Sa fonction principale est de mettre le filet en tension de manière efficace, assurant qu'il reste bien déployé dans l'eau. Grâce à son poids réparti de façon homogène, cet anneau empêche le filet de céder à sa tendance naturelle à se refermer, garantissant ainsi une bonne configuration pour l'élevage et une stabilité accrue de la structure.

5. Durée de Vie : La durée de vie d'un filet est généralement de 3 à 5 ans, selon le matériau, l'entretien et les conditions environnementales. Pour chaque cage, il est conseillé de prévoir un jeu de filets de tailles différentes afin de s'adapter à la croissance des poissons et aux variations saisonnières.

- **Critères de performance et durabilité des filets.**

Un filet avec une densité légèrement supérieure à celle de l'eau est idéal pour rester bien immergé, sans flotter à la surface ni s'enfoncer trop profondément. Cela permet au filet de rester stable et de conserver sa forme correcte autour des poissons élevés. Cependant, au-delà de la densité, il faut prendre en compte d'autres facteurs pour garantir une utilisation durable du filet :

1. **Résistance du matériau :** Le filet doit être assez solide pour supporter les forces exercées par l'eau (courants, houle) et les poissons.
2. **Durabilité :** Le filet doit rester efficace et intact après plusieurs immersions et lavages. Ces opérations peuvent affaiblir le matériau avec le temps.
3. **Exposition aux rayons UV :** Les filets exposés au soleil peuvent se dégrader avec le temps à cause des rayons ultraviolets. Il est donc crucial de choisir des matériaux traités pour résister à cet effet.

- **Nettoyage de filet :**

Le nettoyage des filets doit être fait régulièrement afin d'éviter un poids excessif du filet causé par le fouling, éviter les pathologies et permettre une bonne oxygénation à l'intérieur des filets. La tendance actuelle est de ne plus utiliser de produits anti-fouling à base d'oxyde de cuivre et d'augmenter la fréquence des nettoyages.



Image d'une machine de nettoyage de filet

a- L'ancrage

Le système d'ancrage d'une cage flottante est un élément essentiel pour maintenir les installations en place et amortir les mouvements brusques causés par les courants, les vagues ou les rafales de vent. Il prévient ainsi la transmission directe de ces forces aux structures des cages et aux filets. Pour concevoir un ancrage efficace, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs facteurs :

- la résistance exercée par les cages et filets face au vent et à la mer,
- la nature du fond (rocheux, sableux ou vaseux),
- la profondeur,
- la pente bathymétrique,
- les variations du niveau de la mer dues aux marées.

Le système inclut des éléments comme :

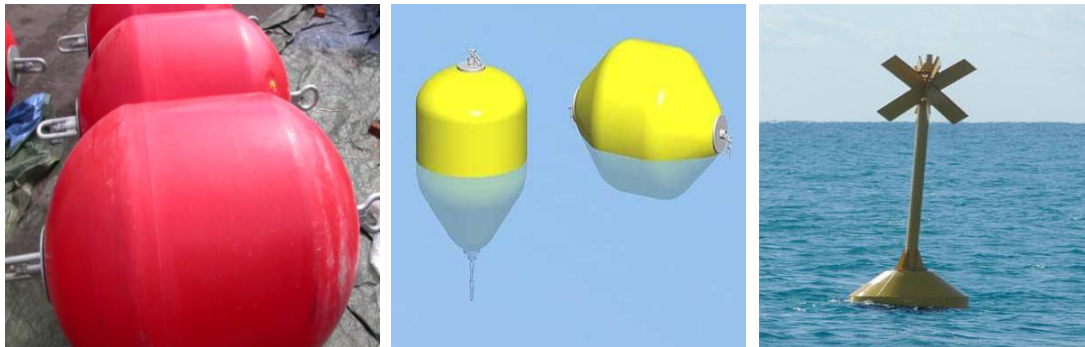
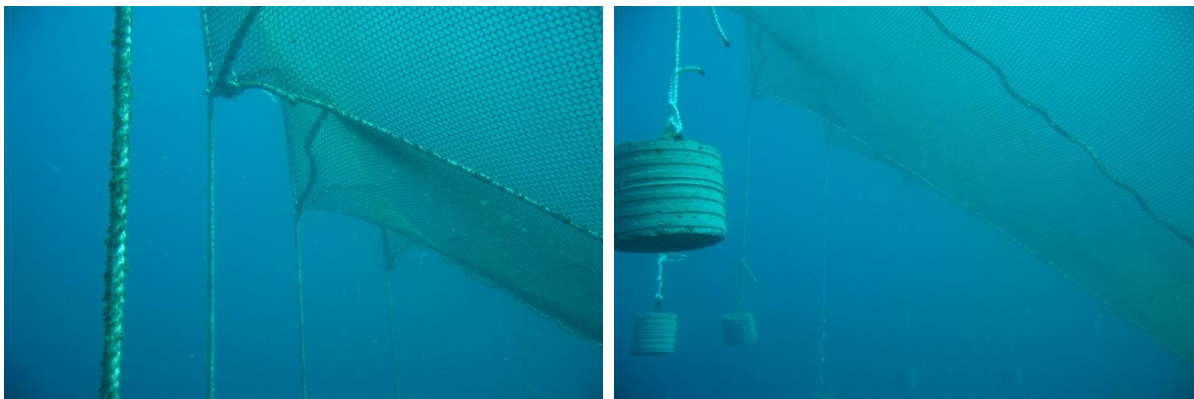
- **Les ancres** : qu'elles soient classiques ou à béton, assurent la fixation des lignes d'ancrage au fond marin et résistent aux forces environnementales
- **Les corps morts** : généralement constitués de béton ou de métal, sont des structures massives placées au fond pour offrir une stabilité accrue, surtout dans des environnements difficiles (fond rocheux ou eaux profondes).
- **Les chaînes et les aussières en fibre** : se sont des éléments essentiels pour maintenir les cages flottantes stables. Les chaînes, généralement en métal, sont lourdes et très résistantes, ce qui permet de bien fixer les installations au fond marin, même dans des conditions difficiles comme les forts courants ou les grandes profondeurs. Elles transmettent efficacement les forces exercées par les vagues et le vent. Les aussières en fibre, quant à elles, sont plus légères et flexibles. Fabriquées en matériaux comme le polypropylène, elles offrent une bonne résistance à la corrosion et absorbent mieux les chocs grâce à leur souplesse. Ces deux éléments sont complémentaires : les chaînes assurent une prise solide, tandis que les aussières aident à réduire les mouvements et à protéger les structures.
- **Les bouées principales** : Grandes et robustes, conçues pour supporter le poids des structures et assurer la flottabilité globale du système. Elles agissent aussi comme des points d'identification visuelle, permettant de repérer facilement les installations en mer. En plus, elles peuvent intégrer des équipements supplémentaires comme des feux de signalisation pour la navigation ou des réflecteurs radars.

- **Les bouées d'amortissement** : elles absorbent et réduisent les forces dynamiques causées par les vagues, courants et vent, agissant comme des tampons entre la mer et les cages. Elles réduisent les chocs brusques, protégeant les structures et améliorant la durabilité des lignes d'ancrage.
- **Des pièces d'union** : tel que les manilles et les connecteurs. Les manilles sont des pièces métalliques qui servent à connecter les chaînes, aussières ou autres éléments du système d'ancrage, permettant de relier les composants de manière sécurisée. Les connecteurs, quant à eux, sont utilisés pour joindre les lignes d'ancrage aux bouées principales ou aux ancres, assurant une liaison robuste et stable tout en offrant une certaine flexibilité. Ces deux pièces jouent un rôle essentiel dans la solidité et la stabilité du système d'ancrage.

Ces composants doivent non seulement résister aux forces dynamiques mais aussi absorber l'énergie cinétique (c'est l'énergie liée au mouvement, par exemple, une grosse vague transporte beaucoup d'énergie lorsqu'elle frappe les structures flottantes.) des changements brutaux liés aux conditions marines.

Enfin, l'orientation des ancrages est essentielle pour les alignements de cages et doit être adaptée aux conditions de courant et de mer : Lorsque les forces (courants et vagues) sont faibles, il est préférable d'orienter les cages en travers au courant. En revanche, en cas de forces élevées, une orientation parallèle au courant est recommandée afin de réduire la résistance aux mouvements de l'eau et d'assurer la stabilité des installations.

**Ancres****Chaine**

**Cordes****Bouées de mouillage**

Les cages flottantes sont de structures semi-rigides, faciles à réaliser, économiques, convenant parfaitement aux sites très bien abrités. Elles peuvent également être utilisées dans des endroits un peu plus exposés à condition d'améliorer la construction du ponton et de mettre en place des dispositifs anti-houle. En règle générale sur sites exposés, les cages flottantes doivent avoir une dimension de 25 mt de diamètre minimum, car elles sont plus souples et résistent mieux à la houle.

Les cages flottantes peuvent être regroupées sur une structure flottante commune favorisant la surveillance et les opérations d'élevage qui semblent, malgré tout, limitées au grossissement d'alevins d'une certaine taille (quelques dizaines de grammes).

I-4-2- Cage submersible :

Une cage flottante submersible (fig.11) est une structure cylindrique installée en mer ouverte, elle est fixée par le bas au fond (40m de profondeur) et maintenue en surface par des flotteurs (bouées). Elle combine les caractéristiques d'une cage flottante et d'une cage immergée, permettant de l'utiliser à différentes profondeurs en fonction des conditions environnementales : sa spécificité est l'aptitude de submerger, à une profondeur de 15m en cas de mauvais temps. Ses Caractéristiques principales :

- **Flottante** : En surface, grâce à des flotteurs qui maintiennent la cage à flot lorsqu'elle n'est pas submergée.
- **Submersible** : Peut être immergée entièrement sous l'eau pour éviter les effets négatifs des vagues, des tempêtes, ou des variations de température en surface.

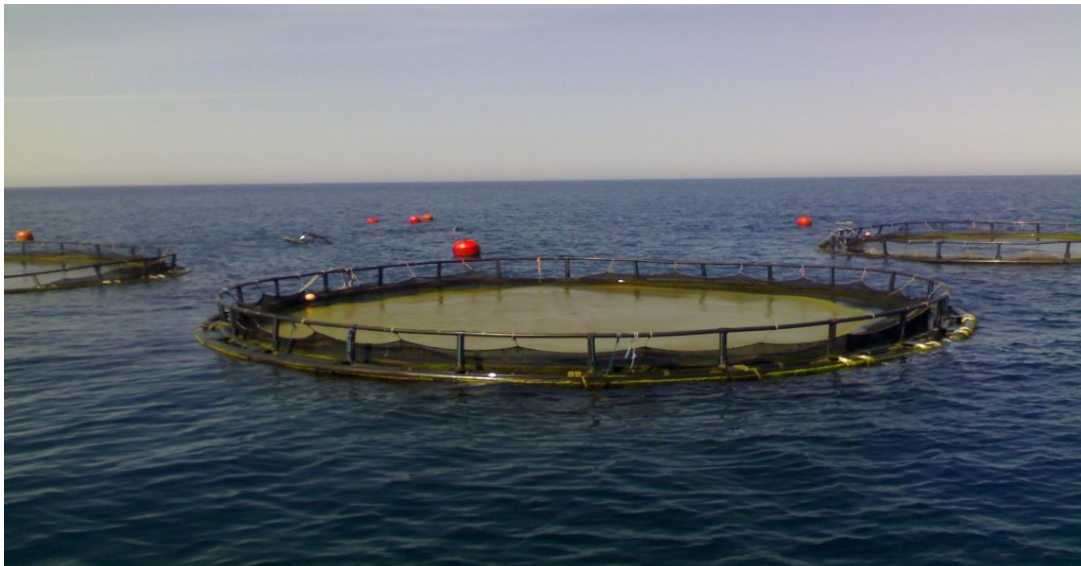


Figure 11. Cage flottante submersible en surface de la mer à Azeffoun

a- Composition :

La cage flottante submersible est composée principalement de trois parties : les anneaux, le filet et le système d'ancrage.

➤ Les anneaux.

Ce sont des tuyaux en PVC (HDPE) de diamètre variable, qui donne la forme d'une cage flottante cylindrique, on distingue 3 types :

- ❖ **L'anneau principal ou l'anneau de flottabilité** : il est composé de deux bagues de diamètres 17,50 m et 18,25 m, fabriquées à partir de tubes en HDPE de 250 mm de diamètre et 10 m de longueur, reliées par 24 bases de chandeliers. Chaque bague est

équipée de deux valves à eau et de deux tuyaux à air, ces derniers étant reliés par un seul tuyau de 14 m de longueur. L'anneau principal assure la flottabilité et la stabilité de la cage, tout en maintenant le filet vertical et le sinker tube grâce à 24 cordes verticales sur toute la hauteur de la cage flottante.

- ❖ **L'anneau secondaire** : appelé également **passé à main**, est une bague unique de 17,50 m de diamètre, fabriquée à partir de tubes en HDPE de 110 mm de diamètre. Il est suspendu à 1 m au-dessus de l'anneau principal grâce à 24 pieds de chandelier fixés aux bases des chandeliers. Son rôle est de maintenir la nappe supérieure (tampon) ouverte à l'aide de 24 cordes et de servir de point d'attache pour les embarcations lors des différentes manipulations.

Remarque : La nappe supérieure désigne la partie supérieure du filet qui entoure la cage flottante. Elle agit comme une protection ou un « tampon » pour empêcher les poissons de s'échapper et pour réduire les impacts directs des vagues ou des courants sur la structure.

- ❖ **L'anneau du fond ou le sinker tube** : est une bague unique de 17,5 m de diamètre, fabriquée à partir de tubes en HDPE de 180 mm de diamètre. Il est submergé sous l'effet du poids d'une chaîne métallique insérée à l'intérieur des tubes, ce qui lui permet de rester stable en profondeur. Sa stabilité est renforcée par 24 cordes fixées à la poche du filet, qui assurent son maintien en position. Cet anneau a pour rôle de maintenir le filet constamment ouvert et suspendu, tout en préservant sa forme cylindrique. Cela garantit une bonne circulation de l'eau, empêche la déformation du filet et contribue au bon fonctionnement de l'ensemble de la cage submersible.



Figure 12. Anneaux principale et secondaire d'une cage submersible.

➤ Les filets :

Comme les cages flottantes, Les filets utilisés sont généralement sans nœuds, pour éviter les blessures des poissons lors des frottements. La maille du filet est en fonction de la taille du poisson contenu dans la cage, à titre d'exemple :

- 8 mm pour les alevins de 5 à 40 g.
- 10 mm pour les poissons de 40 à 80 g.
- 15 mm pour les poissons de 80 à 200 g.
- 22 mm pour les poissons supérieur à 200 g.

Dans le cadre des cages submersibles utilisées en aquaculture marine, on distingue deux types de filets qui assurent la structure et la fonctionnalité de l'installation:

1. Le filet vertical

- Il a une forme cylindrique et constitue la poche principale où sont confinés les poissons.
- Ce filet entoure l'espace d'élevage et sert à empêcher les poissons de s'échapper tout en permettant la circulation de l'eau et l'oxygénation.
- Il est conçu pour résister aux courants marins et aux pressions de l'eau en profondeur.

2. Le filet horizontal.

- Il est représenté par la nappe supérieure qui ferme la cage.
- Il joue le rôle de **couvercle** ou de **tampon** et a une forme circulaire adaptée à la structure de la cage.
- Son objectif est d'empêcher les prédateurs marins (comme les oiseaux ou certains grands poissons) d'accéder aux poissons d'élevage et de limiter les risques de fuite des poissons vers l'extérieur.

L'ensemble de ces filets doit être résistant et durable pour supporter les conditions marines (courants, houle, bio-encrassement, etc.)

➤ Le système d'ancrage :

Il est constitué des ancres, des cordes, des chaînes et des bouées

- ✚ **Les ancres** : Elles sont choisies en fonction des conditions environnementales (courants, houle, vents) et du type de substrat (sable, vase, roche). et offrent une grande résistance une fois enfoncées dans le fond marin. Leur installation est simple et permet de maintenir les cages en position. Parmi les principaux types d'ancres, on trouve l'ancre plate (idéale pour le sable et la vase), l'ancre à griffes (adaptée aux substrats mixtes), l'ancre à charrue (polyvalente pour divers substrats), le corps mort (pour les fonds rocheux ou permanents) et l'ancre Spade (efficace sur presque tous les types de fonds).

✚ **Les chaînes et les cordes** : Les chaînes alourdissent les lignes d’ancrage pour assurer une bonne inclinaison des ancres, tandis que les cordes appelées également aussières (fabriquées en matériaux synthétiques résistants comme le polysteel) relient les structures flottantes au système d’ancrage.

Ensemble, chaînes et cordes assurent la stabilité des installations marines et garantissent une répartition homogène des forces exercées par les mouvements de l’eau, réduisant ainsi les risques de déformation ou de déplacement des structures flottantes utilisées

✚ **Les bouées** : Les bouées de mouillage, flottantes et résistantes, maintiennent les cages à la profondeur souhaitée et réduisent les tensions sur les lignes. Elles assurent également la flottabilité de l’ensemble du système.

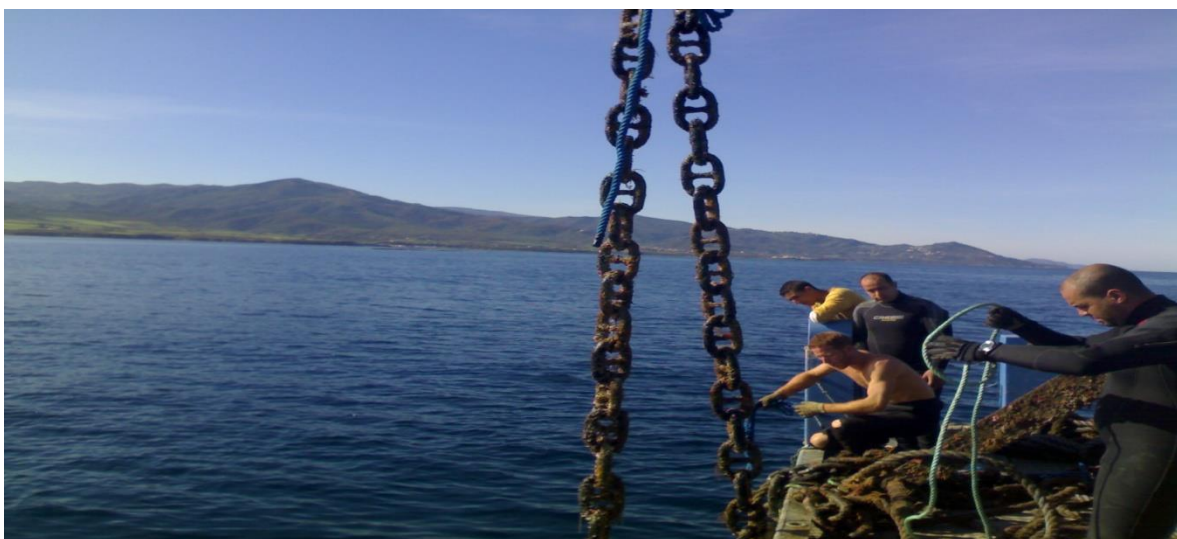
✚ **Les flotteurs de profondeur**: Utilisés pour éviter l’abrasion des cordes au niveau du fond marin, ces flotteurs complètent le système en garantissant la durabilité des lignes d’ancrage.



Une Ancre



Un Corps mort



Chaîne d’ancrage



Figure 13. Différents éléments d'un système d'ancrage d'une cage submersible.

Ce dispositif bien conçu permet de fixer solidement les cages submersibles tout en assurant leur durabilité et leur performance dans un environnement marin.

b- Technique de submersion des cages submersible.

Lors de mauvais temps annoncé par les services météorologiques, les cages flottantes sont immergées à 15 mètres de profondeur pour les protéger des vagues et de la houle. Voici les étapes de submersion :

1. Ouvrir les valves à eau de l'anneau principal.
2. Sortir les tuyaux à air de l'eau.
3. L'air contenu dans l'anneau principal s'échappe par les tuyaux.
4. L'eau de mer remplace l'air, ce qui alourdit la cage et la fait descendre progressivement.
5. Une fois la cage bien immergée, les tuyaux sont relâchés dans l'eau.

Pour une bonne submersion :

- Ajuster la quantité d'air évacuée pour maintenir l'équilibre de la cage.
- Si un côté s'immerge mal, boucher le tuyau correspondant pour stabiliser la descente.

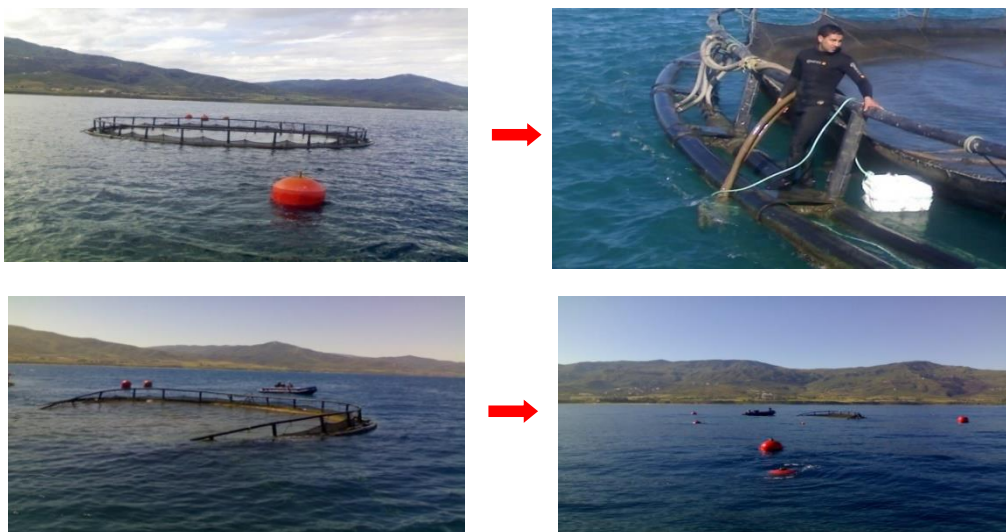


Figure 14. Photos illustrant les différentes étapes de la submersion d'une cage.

c- Technique d'émersion des cages.

Pour faire remonter la cage à la surface et lui redonner sa flottabilité, on utilise le même principe que pour la submersion, mais à l'inverse. Cette fois, on remplit les tubes de l'anneau principal avec de l'air injecté par un compresseur installé sur un zodiaque. Les étapes de l'émersion sont comme suit :

1. Remonter les tuyaux à air hors de l'eau et les brancher au compresseur.
2. Démarrer le compresseur avec une petite pression (2 bars) pour éviter de stresser les poissons.
3. L'air entre dans les tubes, poussant l'eau vers l'extérieur par les valves, ce qui fait remonter la cage progressivement.
4. Une fois la cage en surface :
 - Arrêter le compresseur.
 - Fermer les valves à eau.
 - Débrancher les tuyaux à air et les plonger rapidement dans l'eau pour éviter que l'air ne s'échappe.

d- Nettoyage et entretien.

Un entretien régulier des différents éléments des cages flottantes est obligatoire pour garantir le bon état des équipements et assurer le succès de l'élevage. Il doit être réalisé dès que nécessaire.

d-1. Nettoyage des filets et du tampon.

Après le remplacement d'un filet ou d'un tampon, il faut :

1. L'étaler et le laisser sécher.
2. Le laver dans une machine spéciale.
3. Le sécher une deuxième fois pour faciliter la réparation des mailles endommagées.



Figure 15. Machine à laver des filets à droite et séchage de filet à gauche.

d-2. Nettoyage des anneaux et des cordes.

Les cordes et les anneaux peuvent être recouverts de moules et d'algues, ce qui peut :

- Déséquilibrer la cage.
- Endommager les filets par frottement, surtout en cas de mauvais temps.

Le nettoyage est effectué par des plongeurs, à l'aide d'une raclette, pour éliminer ces dépôts.



Figure 16. Nettoyage des cordes des bouées à gauche et des cordes d'ancrage à droite.

I-4-3- Les cages immergées :

Pour les sites en mer plus exposés, on a recours à la technique des cages immergées.

a- Cage type “biconique” en filet

Il s'agit d'une structure constituée d'une poche en filet de forme biconique supportée par un mât central en PVC autour duquel sont disposées trois cerceaux en polyéthylène (1 cerceau médian et 2 sommitaux). Le volume de ces cages peut varier entre 20 et 40 m³ en fonction du diamètre du cerceau médian, pour une longueur du mât de 6 m.

Ce type de cage ne nécessite qu'un seul point d'ancrage. Elle peut de ce fait pivoter librement autour de son axe et s'orienter facilement en fonction des courants.

L'immersion et l'équilibrage à la profondeur voulue s'effectuent par remplissage partiel du mât central. Elle peut également être utilisée en position flottante. Dans ce cas, la partie émergée bénéficie d'un auto-nettoyage du filet par séchage solaire.

b- Cage en grillage métallique :

Il s'agit là d'un modèle de cage rigide composée d'une armature en PVC et où le filet traditionnel a été remplacé par un grillage métallique en alliage de cuivre et de nickel particulièrement intéressant pour ses propriétés anti-fouling.

Les contraintes importantes dues à la rigidité de la structure imposent son utilisation en position immergée.

En Conclusion :

Les cages flottantes permettent un entretien et un contrôle plus précis de l'élevage par rapport aux cages immergées. Elles nécessitent cependant un site abrité ou la mise en place de protections anti-houle efficaces.

Par rapport aux élevages à terre, elles nécessitent moins d'aménagement, évitent le pompage mais rendent le suivi de l'élevage plus délicat et ne concernent que le grossissement de poissons ayant une taille minimale (de 10 à 30 g).

Les cages immergées permettent l'élevage en pleine mer, mais le contrôle de l'élevage (observation, alimentation, mesures, comptage, etc....) est beaucoup plus difficile à réaliser, ce qui les limite à phase finale d'engraissement à partir de poissons déjà assez gros (100 g).

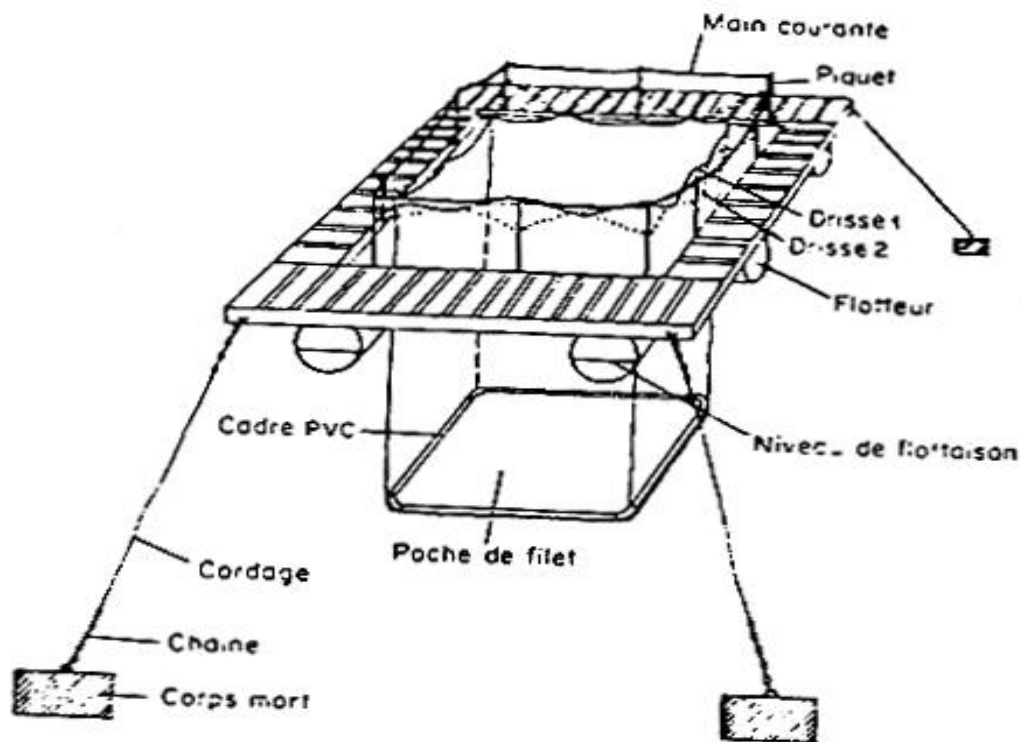


Schéma d'une Cage flottante sur ponton. Caractéristiques technique. Ponton dimensions intérieures, 4 × 4 m largeur. 0.80m. Cage: largeur. 3.80 m; longueur. 3.80m, hauteur, 2.50 M: volume utile d'élevage, 36 m³

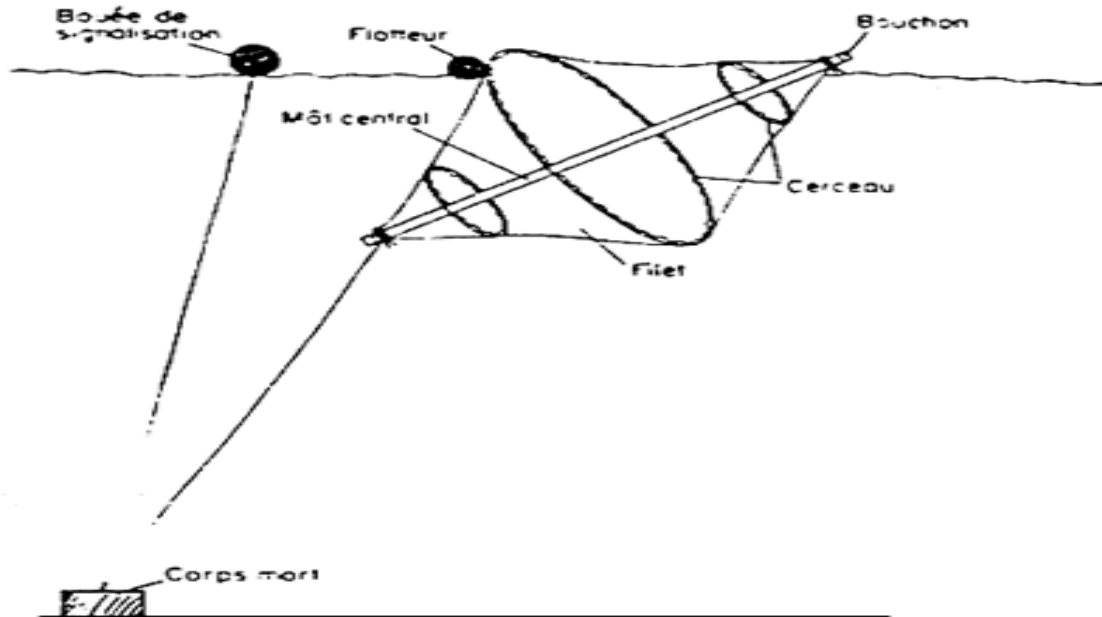
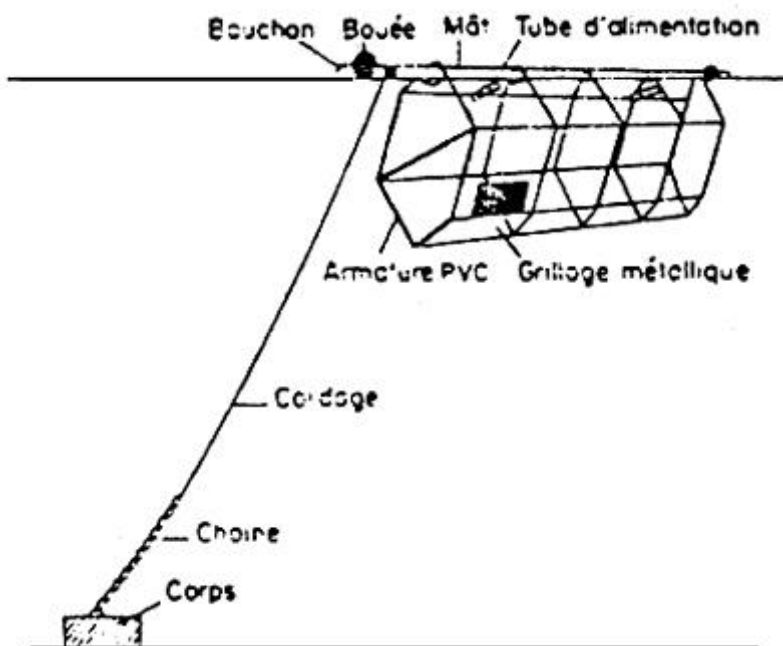


Schéma d'une cage de type biconique en position flottante.



Modèle de cage en grillage métallique Caractéristiques techniques : longueur 3,60 m ; diamètre. 2 m; vide de maille du grillage. 10 mm ; volume utile d'élevage. 115 m³.

II- Structures d'élevage conchylicole.

II-1- Bouchot.

Initiée par l'irlandais Patrick Walton : bout = clôture, chot = en bois.

Le principe de cette technique c'est l'implantation à proximité de la côte et en ligne des pieux en bois (le chêne) dont le nombre et les dimensions varient : largeur du bouchot : 50-100 m réparties sur 1 à 2 rangées. Le nombre des pieux, dont la largeur oscille entre 4 à 7 m, varie entre 120 à 180. Le diamètre de pieu varie : 12 à 25 cm.

La distance, la disposition et l'écartement des lignes des pieux dépendent des conditions hydrodynamiques et sédimentaires (nature de substrat, direction du courant, jeu de marée).

La mise en place des pieux s'effectuent 3 mois avant la fixation des naissains. Pour le captage des naissains, selon le plan d'eau et ses caractéristiques géomorphologiques et hydrodynamiques, on utilise des cordes disposées soit horizontalement, verticalement ou en position mixte, sur des pieux neufs ou utilisés. Les cordes présentent l'avantage d'être transportées pour alimenter d'autres régions en naissains (ex : régions dont les conditions sont défavorables pour la reproduction...).

Dans l'élevage, les jeunes bivalves sont mis dans des filets tubulaires ($\Phi = 12$ cm) qu'on enroule autour des pieux (opération de boudinage). Selon la période d'activité et métabolisme des animaux, la nature de filet diffère :

- En été, on utilise des filets en coton qui sont putrescibles (qui se dégradent rapidement) (maille = 22mm).
- En période plus froide où les bivalves poussent peu (fixation fragile) et ne tourne plus autour de pieu, le boudinage s'effectue au moyen de filets en nylon ou en plastique, plus onéreux mais imputrescibles.

Par le jeu des marées les bivalves se retrouvent régulièrement immergées

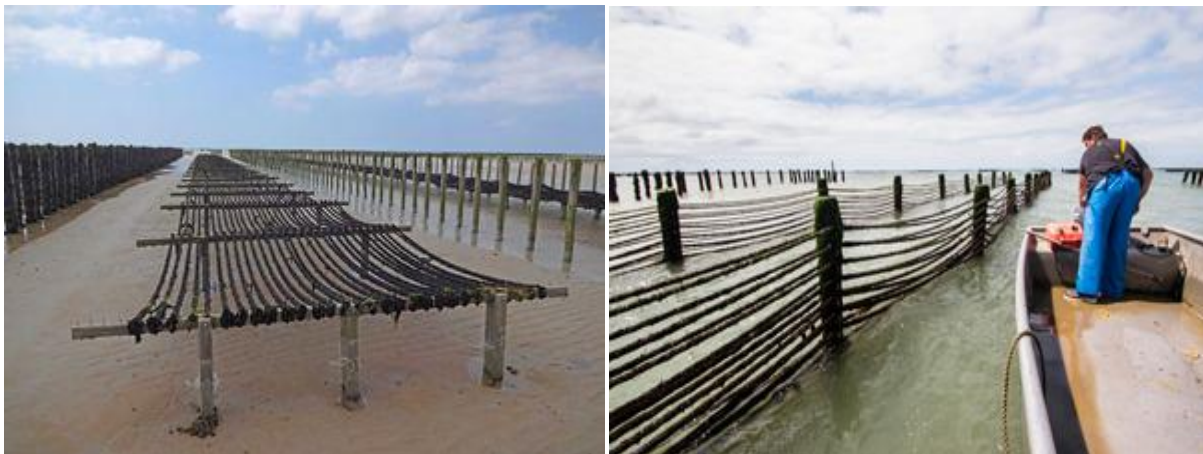
L'opération de boudinage se fait selon le niveau de la mer (on garnie la partie supérieure ou inférieure du pieu). La partie basale (à 50 cm du fond) est à proscrire, elle est réservée aux dispositifs d'obstacle contre les prédateurs (ex : on utilise un plastique effrangé).

Remarque :

- En général il faut 3 à 5 m de boudin pour un pieu de 2 à 3 m (boudin de 2 cm de maillage et de 12 à 15 cm de \emptyset).
- Une corde de 4 m garnie de naissain de moule de 1 cm peut donner 7 à 8 mois plus tard 30 kg de moules pré-grossies.



Image de bouchot à gauche et opération de boudinage à droite. (www.aquaporail.com)



Corde verticale à droite et horizontale à gauche (www.aquaporail.com)

II-2- Culture en suspension :

Le principe de la culture en suspension consiste à immerger constamment des cordes d'élevage après l'opération de captage du naissain sans contact direct avec le substrat. On distingue deux types de culture en suspension : les installations fixes (ex: tables) et les installations flottantes (ex : radeaux).

a) Table d'élevage : (installation fixe)

Très répandu dans les pays méditerranéens (France). Chaque table d'élevage (mesure généralement 50m sur 12) est composée de 3 rangées de 11 pieux (rail de chemin de fer) espacés de 4 ou 5m sur lesquels sont fixés des madriers en bois ou métalliques. Des perches (10 à 12m de longueur), portant des cordes d'élevage et distantes d'eau mois 1m, sont posées sur les madriers. Les tables sont situées dans des eaux peu profondes (3 à 10m) où l'amplitude

de marée est faible. Les pieux, enfoncés sur des fonds meubles ou plus durs, doivent émergés à 1,5m environ.

En élevage : le naissain est transféré dans des filets ou pochons (22 à 25 cm) dont la maille dépend de leur taille. La préparation des cordes d'élevage se fait comme suit : le filet est fixé sur table et recouvert d'une bande de papier sur le quel on met les bivalves grappés. Le filet est ensuite fermé à l'aide d'un fil de nylon. La mise en place du papier permet dans un temps très court la fixation des animaux entre eux (grâce à leur byssus). On procède alors à la mise en place de filet de cati-nage. Les cordes, une fois prêtes, sont suspendues aux perches par des filins. Elles sont immergées à 50 cm de surface et ne doivent pas toucher le fond.

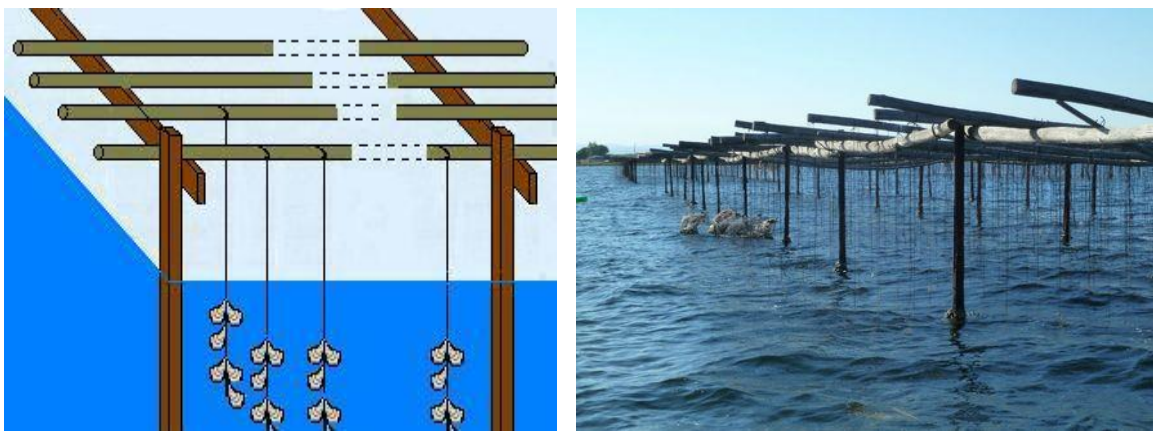


Image d'une table d'élevage (www.aquaporail.com)

b) Les radeaux : (installation flottante)

Le principe consiste à l'immersion constante des moules ou huîtres à plusieurs niveaux dans des zones abritées. Ils ont une dimension de 12m sur 6 et sont portés par 6 gros flotteurs synthétiques. Cette technique est très onéreuse malgré les avantages qu'elle présente (croissance rapide, mécanisation réduite, contact avec les prédateurs sédentaires restreints).



Image radeau

Remarque : Les installations flottantes ont été utilisées pour la 1^{ère} fois en Méditerranée en 1984. Cet élevage se pratique en mer ouverte, il nécessite des tranches d'eau plus profondes de 10, 15 jusqu'à 30m. Le choix des sites d'implantations doit tenir compte de l'hydrodynamisme ambiant. Cette technique permet aux bivalves de bénéficier de conditions trophiques idéales à leur croissance (croissance plus rapide). Aussi, l'absence de contact avec le fond empêche les prédateurs de grimper le long des cordes et les bivalve d'être souillées par le sédiment.

II-3- Culture à plat :

Principale technique utilisée dans les pays d'Europe du nord. Elle se fait au contact avec le sol sur estran (*partie du littoral périodiquement recouverte par la marée*), sur des endroits très abrités et pas très profonds (1m max). Les sites sont exploités par dragage.

Le principe de la culture à plat consiste à recueillir des naissains des gisements naturels et de les transférer dans les zones où les conditions d'élevage sont plus favorables. Après avoir préparé le sol (aplanissement, durcissement) les jeunes bivalves sont semés à une densité de 25 à 30 tonnes/ha et durant le grossissement ils sont suivis (ex : dégager le sédiment qui vient les couvrir, lutter contre les prédateurs et les végétaux qui viennent coloniser les parcs d'élevage...) et la récolte se fait à la fourche ou plus souvent à la drague.



Image d'une section régionale de conchyliculture de Bretagne Sud.

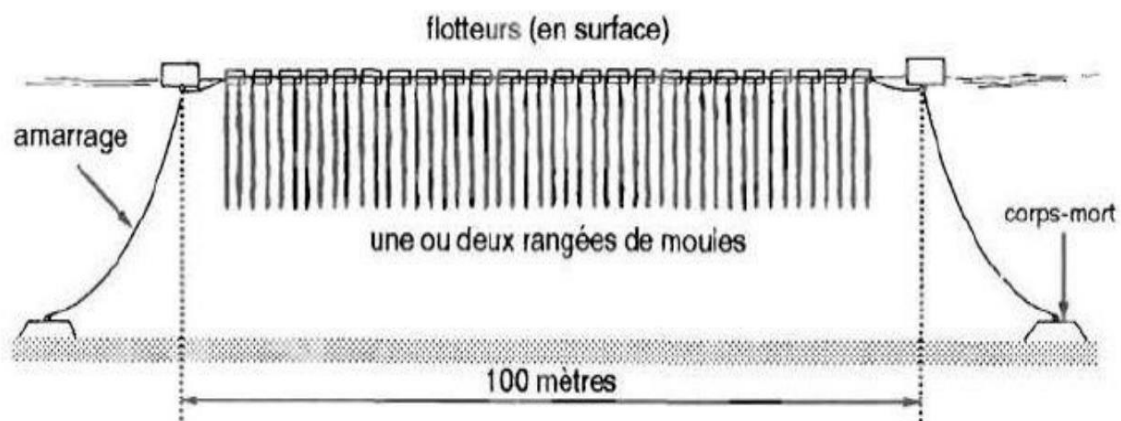
II-4- Elevage en pleine eau :

Utilisé dans la plupart des pays qui exploitent les zones côtières à l'abri des intempéries au moyen de filières. Ces dernières sont constituées d'un support linéaire longitudinal attaché sur le fond (filière de fond), en pleine eau (filière sub-surface), ou en surface (filière flottante ou

de surface). Sur ce support sont attachés les éléments d'élevage (cordes, capteurs, etc...), sustentés et maintenus à l'aide de flotteurs synthétiques de volume variable.

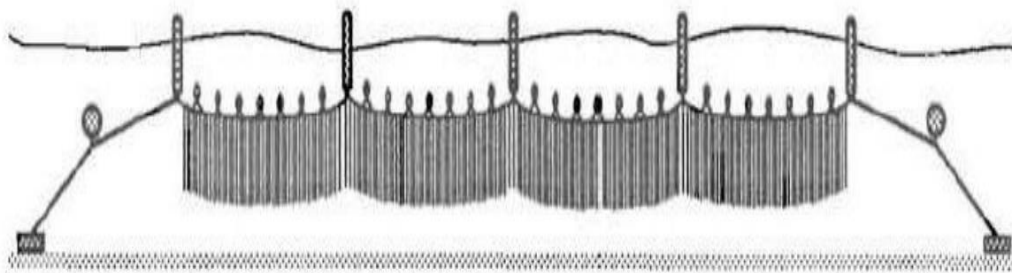
En méditerranée, la législation impose l'immersion des sujets d'élevage à une profondeur supérieure à 5m en raison des contraintes qu'ils subissent (gêne la navigation côtière, destruction des filières flottantes par les mouvements d'eau).

- **Les filières de surface** : Réalisées en 1988 en Algérie; elles sont utilisées dans des zones abritées et composées d'une corde principale « aussière maitresse » située en surface et maintenue flottante par des flotteurs. Le système d'élevage constitué de cordes de 7 à 10m de long disposées à 1 ou à 2m d'intervalle le long de la maitresse.



Exemple de filière de surface (Bompais, 1991).

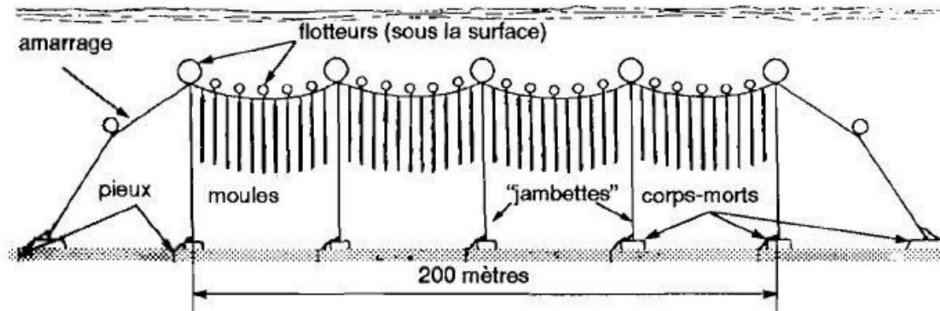
- **Les filières de sub-surface** : Réalisée en 1987 en Algérie, Elle est positionnée entre les deux eaux à 5m de profondeur afin de ne pas gêner la circulation maritime (navigation) et éviter la houle de surface et les courants. Seules les extrémités sont signalées en surface.



Exemple de filière de sub-flottante (Bompais, 1991).

- **Les filières de fond** : Elle est immergée à une profondeur de 20 mètres et constituée dans sa partie porteuse d'une chaîne métallique lourde, fixée à ses deux extrémités par des pieux plantés en oblique. Elle comporte des ralingues d'élevages tout comme la filière de

surface mais placées à l'envers. La fixation se situe sur la chaîne, posées sur le fond. Les cordages étaient maintenus verticalement grâce à des flotteurs situés à 5m de surface.

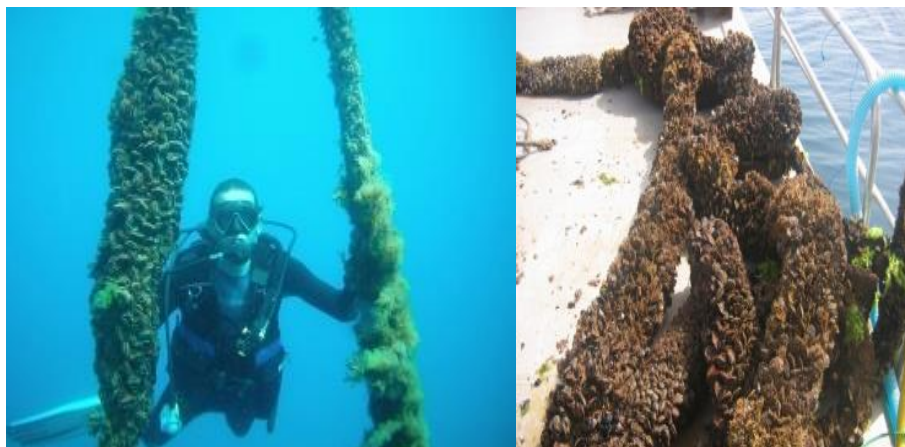
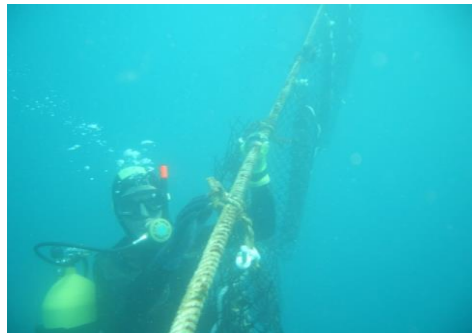


Exemple de filière de sub-flottante (Bompais, 1991).

Remarque :

La mise en place des installations conchylicoles devaient répondre aux critères suivants:

- Que les structures demeurent stables même en forte tempête.
- Que les mollusques eux aussi demeurent en place sur la structure par mauvais temps.
- Que les opérations proprement conchylicoles puissent se faire d'une façon relativement facile.
- Que le coût (fonctionnement- investissement) donne un bilan économique positif.



Cordes d'élevage des moules en filière