



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID D'EL-TARF
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Sciences de la Mer



جامعة الشاذلي بن جديد
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

Polycopie de cours rédigé par :
BENSAFLIA Nabila
Maître de Conférence « A »



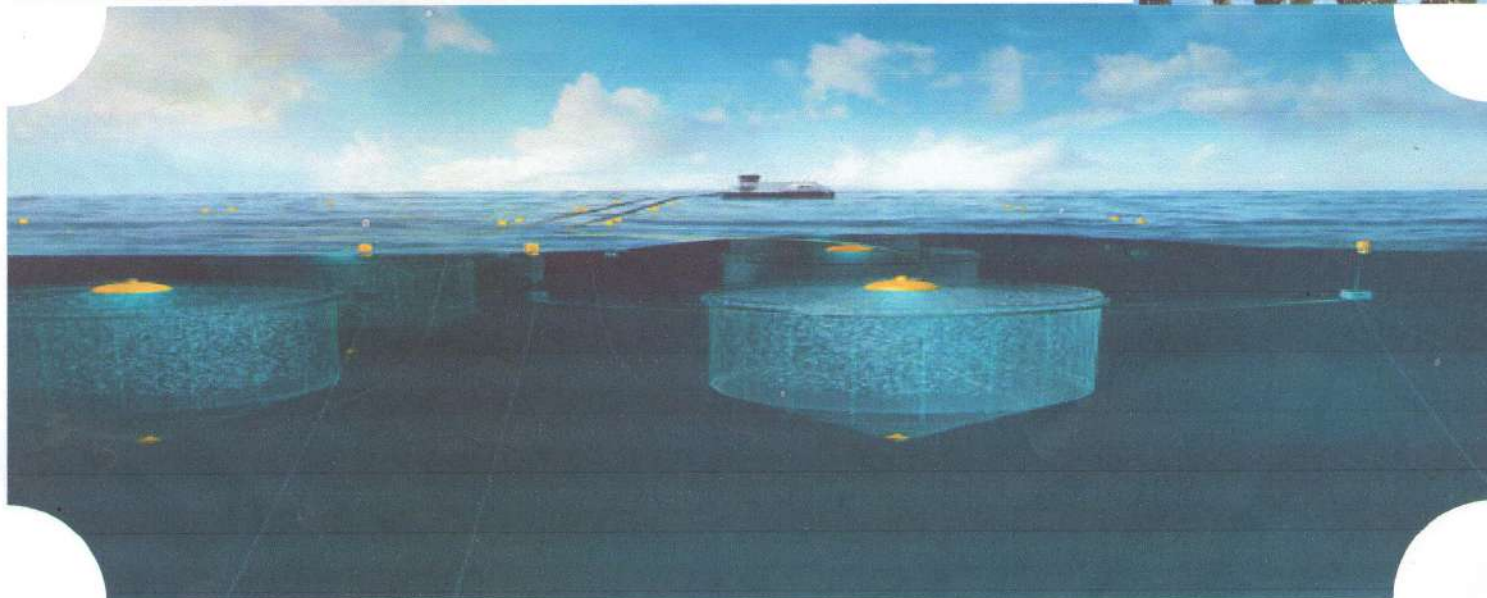
جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
كلية علوم الطبيعة والحياة
رئيسة المجلس العلمي
الأستاذ الدكتور: كمال ميسرود

COURS

D'INGENIERIE AQUACOLE



Conforme au canevas
« Master I Bio-ressources Marines »
2024-2025



Réf. : 113/FSNV/UCBET/2024

EL-Tarf le: 21/10/2024

مستخرج من محضر رقم 12 للمجلس العلمي للكلية

في اليوم الواحد والعشرون من شهر أكتوبر من سنة ألفين وأربعة وعشرين انعقد المجلس العلمي للكلية برئاسة الأستاذ الدكتور: مـيـرود كمال.

2- متفرقات

● قسم علوم البحار

د. بن صافية نبيلة

بعد دراسة طلب المعنية في ما يخص تعيين خبراء للمصادقة على محتوى الدرس بعنوان: «Ingenierie Aquacolele» «Bioressources Marines» المخصصة لطلبة ماستر 1 صادق المجلس العلمي للكلية على الخبراء التاليين:
أعضاء من داخل المؤسسة:

- راشدي منيرة أستاذة محاضرة أ
جامعة الشاذلي بن جديد الطارف
أعضاء من خارج المؤسسة
قطاف محمد أستاذ محاضر أ
جامعة 08 ماي 1945 قالمة

نائبة العميد لما بعد التدرج

أستاذة: عمرانى أمينة

رئيس المجلس العلمي للكلية

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
كلية علوم الطبيعة و الحياة
الأستاذ الدكتور: مـيـرود كمال

Réf. : _____/FSNV/UCBET/2025

EL-Tarf le: 12/03/2025

مستخرج من محضر رقم 13 للمجلس العلمي للكلية

في اليوم الثاني عشر من شهر مارس من سنة ألفين وخمسة وعشرين انعقد المجلس العلمي للكلية برئاسة الأستاذ الدكتور: مـيـرود كمال.

III- متفرقات

3 - المطبوعات البيداغوجية

*قسم علوم البحار:

د- بن صافية نبيلة:

بعد الاطلاع على التقارير الإيجابية للخبراء راشدي منيرة و قطاف محمد للمطبوعة البيداغوجية:

"Ingénierie aquacole"

صادق المجلس العلمي للكلية على المطبوعة البيداغوجية.

نائبة العميد لما بعد التدرج

الأستاذة **عمراني أمينة**

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
كلية علوم الطبيعة والبيداغوجيا
رئيس المجلس العلمي للكلية
الأستاذ الدكتور مـيـرود كمال

رئيس المجلس العلمي للكلية

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
كلية علوم الطبيعة والبيداغوجيا
رئيس المجلس العلمي للكلية
الأستاذ الدكتور مـيـرود كمال



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID D'EL-TARF
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Sciences de la Mer



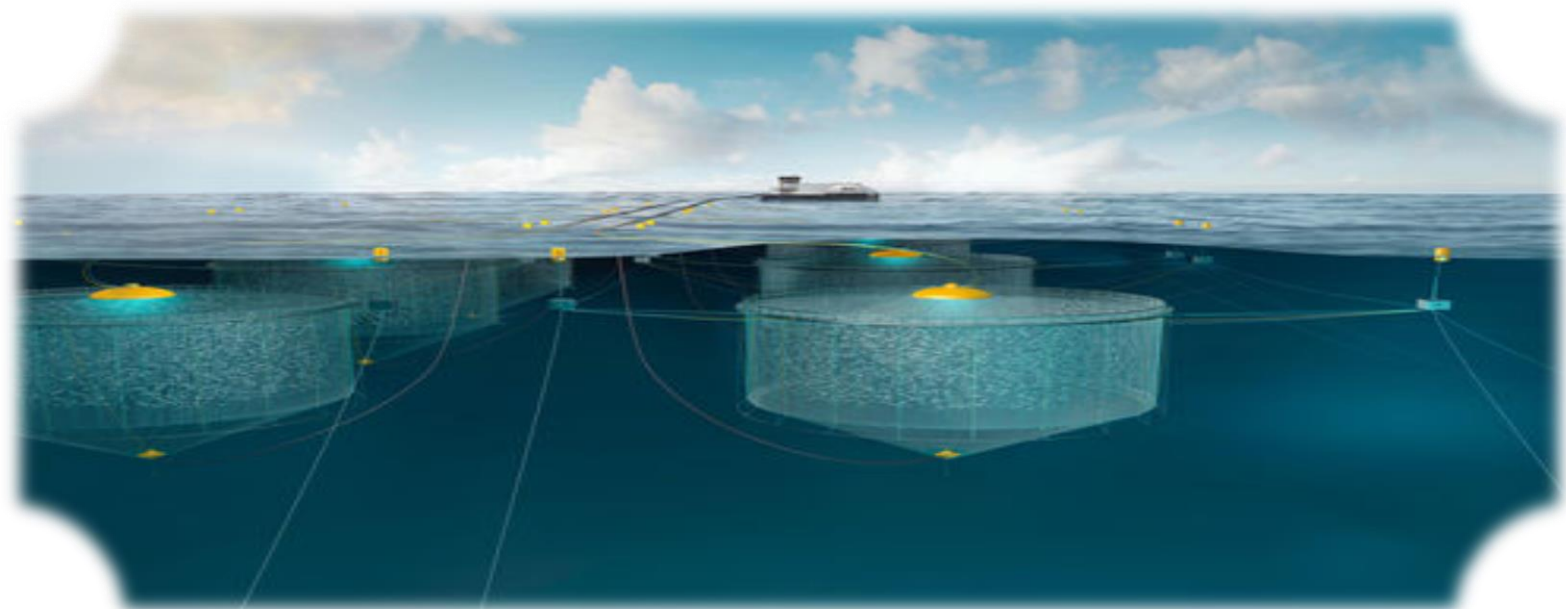
Polycopie de cours rédigé par :
BENSAFIA Nabila
Maître de Conférence « A »



COURS D'INGENIERIE AQUACOLE



Conforme au canevas
« Master I Bio-ressources Marines »
2024-2025



Avant propos

Ce polycopie s'adresse aux étudiants inscrits en Master 1, son contenu est conforme au canevas officiel de la matière enseigné en 1ere année de Master, spécialité de Bio- ressources marines ; filière d'Hydrobiologie marine et domaine des Sciences de la Nature et de la Vie. Il est rédigé dans le but de permettre d'avoir un outil de travail et de référence recouvrant les connaissances qui leur sont demandées.

Ce cours a pour objectif de fournir une base solide sur les principes fondamentaux et les pratiques courantes de l'aquaculture. L'élevage aquacole, en constante expansion, nécessite une compréhension approfondie de la conception des installations, de la gestion des ressources en eau, et des infrastructures spécifiques. Ce cours abordera successivement les aspects techniques liés à **la conception des installations d'élevage**, l'importance de **l'approvisionnement en eau** dans le maintien d'un environnement sain pour les espèces, **les étangs et leurs ouvrages** ainsi que **les infrastructures** dédiées à **l'élevage en mer**. De plus, une attention particulière sera accordée à la **conception d'une écloserie**, point névralgique pour la production aquacole durable. Ces chapitres permettront aux étudiants de développer des compétences essentielles pour aborder les défis techniques et environnementaux du secteur.

Sommaire

Avant propos

Sommaire

Chapitre 1: Conception des installations d'élevage

Introduction :.....	1
1- Agencement des bassins :.....	1
2- Matériaux des bassins :.....	2
2-1- Terre :	2
2-2- Films plastique ou bâches :.....	4
2-3- Béton ou maçonnerie :.....	5
2-4- Résine polyester :.....	6
3- Forme des bassins :.....	6
3-1- Raceway ou bassin couloir :	6
3-2- Bassin rectangulaire à courant rapide (type BURROWS) :.....	7
3-3- Les bassins circulaires :.....	8
4- Critère de choix et règles sommaires de construction des bassins :.....	10
4-1- Répartition des efforts :	10
4-2- Occupation des sols :.....	10
Conclusion :	10
5- Dimensionnement des installations :	11
5-1- Détermination des charges optimales d'un bassin "méthode de Liao 1971" :.....	11

Chapitre 2 : Approvisionnement en eau en aquaculture

Introduction :.....	13
1- Critères quantitatifs et qualitatifs pour l'approvisionnement en eau d'un élevage aquacole :.....	13
1-1- Débit d'eau à l'approvisionnement :.....	13
1-2- Débit d'eau dans l'élevage : fonction de l'eau en élevage.....	14
2- Débit et besoin en oxygène :.....	16
2-1- Besoin moyen en oxygène :.....	16
2-2- Besoin instantané en oxygène :.....	17
3- Les objectifs de qualité d'eau dans l'élevage :	17
4- Maitrise de l'eau : Aménagement et matériel.....	17
4-1- L'aération et l'oxygénation :.....	17
4-2- L'épuration des eaux :	19
4-3- La désinfection des eaux :.....	21
4-4- Thermorégulation :	22
4-5- Le recyclage :.....	23
5- Les prises d'eau :	23
5-1- Les prises d'eau gravitaires :	23
5-2- Les prises d'eau par pompage :.....	25

Chapitre 3 : Les étangs et leurs ouvrages

Introduction :	31
1- Eléments d'un étang piscicole :	31
2- Les principaux types d'étangs :	32
2-1- Etang en déblai :	37
2-2- Etang de barrage :	38
2-3- Etang en dérivation :	40
2-4- Avantages et inconvénients de ces types d'étangs :	41
3- Caractéristiques physiques des étangs piscicoles :	42
4- Caractéristiques des digues d'étang.....	45
5- Les différents ouvrages d'un étang :	46
5-1- Ouvrage de prise d'eau des étangs :	46
5-2- Ouvrage d'entrée et de sortie (alimentation et vidange) :	49
5-3- Pêcherie :	53

Chapitre 4 : Structures d'élevage en mer

I- Les cages :	56
I-1- Historique.....	56
I-2- Caractéristique d'une cage :	60
I-3- Choix des cages.....	60
I-4- Différents types de cages :	62
II- Structures d'élevage conchylicole.....	83
II-1- Bouchot.....	83
II-2- Culture en suspension :	84
II-3- Culture à plat :	86
II-4- Elevage en pleine eau :	86

Chapitre 5 : Conception d'une écloserie

1- Introduction.....	90
2- Définition.....	90
3- Objectifs	90
4- Infrastructures.....	91
5- Conditions préalables à la création d'une écloserie.....	93
6- Fonctionnement d'une écloserie.....	94
7- Protocoles de manipulation du poisson dans les écloseries.....	97
8- Avantages et inconvénients.....	98
Références bibliographiques	99

Chapitre I:
Conception des installations
d'élevage

Introduction :

L'élevage des poissons peut se pratiquer selon différents modes : extensif, semi-intensif ou intensif. A chaque mode correspond une structure particulière répondant aux exigences biotechnique et économique de l'élevage réalisé.

1- Agencement des bassins :

Selon la disposition on distingue :

- a) **Les bassins en parallèle :** Ils sont alimentés indépendamment, ce qui présente certains avantages non négligeables comme les contrôles des maladies dont la propagation se trouve limitée par l'absence de communication entre les bassins (fig1). Cependant, ces avantages se paient d'une part par un coût légèrement plus élevé par rapport à la disposition en série, et par des exigences, à production égale, plus importante en eau.



Figure 1 : disposition des bassins en parallèle (<https://www.shutterstock.com/fr>)

- b) **Les bassins en série :** Dans ce cas, l'eau passe d'un bassin à un autre après ré-oxygénation, les plus souvent par des chutes. L'eau est en quelque sorte réutilisée dans les bassins suivants, ce qui présente l'avantage de demander moins d'eau que pour le système précédent mais pose des problèmes au niveau sanitaire (propagation rapide des maladies) (fig.2)



Figure 2 : disposition des bassins en série (<https://www.shutterstock.com/fr>).

- c) **Le système mixte** : Plusieurs séries de bassins placés en parallèle (fig.3), il est intéressant dans la mesure où le nombre de bassins en série n'est pas trop important (3 à 4 au maximum).



Figure 3 : disposition des bassins (système mixte) (<https://www.shutterstock.com/fr>).

2- Matériaux des bassins :

La réalisation d'un bassin peut faire appel à différents matériaux en fonction desquels varient beaucoup les caractéristiques d'élevage et le coût de construction :

2-1- Terre :

Il ne présente pas un investissement important. Les bassins peuvent très facilement être réalisés en terre (fig.4). Le terrassement au Bulldozer ou surtout à la pelleuse ne pose pas de problème particulier. Les opérations sont réduites au minimum : fouille, dressage

des talus, compactage. Souvent les extrémités du bassin sont maçonnées, à l'entrée, afin d'éviter tout creusement dû à la chute de l'eau et à la sortie pour installer convenablement le moine, voire la pêcherie (fig.5). Le sol doit être imperméable. La pente donnée au talus doit assurer une bonne stabilité de l'ensemble. Ils se caractérisent cependant par un entretien (nettoyage) et une désinfection difficiles. Par contre, en plus de leur coût peu élevé, ils présentent un avantage au niveau de la qualité d'eau. En effet, il semblerait que dans les bassins en terre il se développe dans la couche superficielle du sol une faune bactérienne nitrifiante qui réalise les différents stades de l'organisation de l'azote (limitant ainsi le taux d'ammoniac dans le milieu).



Figure 4 : Bassin en terre (<https://www.shutterstock.com/fr>)..



Figure 3 : Bassin en terre avec extrémité maçonnée (<https://www.shutterstock.com/fr>).

Remarque : Les bassins en terre convient essentiellement à l'engraissement de poisson de certaine taille ($> 50g$).

2-2- Films plastique ou bâches :

On peut distinguer deux types de bassins bâchés :

- Les bassins avec armature rigide recouverte d'un film plastique (souvent circulaire, en contre plaqué) (fig.6.a).
- Les bassins en terre étanchés par un film plastique (polyène, butyl....) (fig.6.b). Cette technique permet la réalisation des bassins facile à mettre en place, peu chers, elle rend possible surtout l'utilisation des sols perméable.



Figure 6.a : Bassins avec armature rigide recouverte d'un film plastique (<https://www.shutterstock.com/fr>).



Figure 6.b : Bassins en terre étanchés par un film plastique (<https://www.shutterstock.com/fr>).

La mise en place de film plastique nécessite des précautions particulières (support sans aspérités : « inégalité ») et ne met jamais à l'abri d'accident de perforation (ex : rongeurs...). Le nettoyage et la désinfection, bien que meilleurs que dans le cas de bassin en terre, ne sont toutefois pas aisés à cause de la fragilité du film et des déchets pouvant apparaître dans les angles et les arrondis du bassin. La durée de vie de films plastiques est variable selon leur nature et excède rarement les 5ans.

2-3- Béton ou maçonnerie :

Le béton armé ou la maçonnerie (fig.7) sont des matériaux qui garantissent la durée de vie la plus longue aux bassins et qui permettent d'obtenir toutes les formes désirées.



Figure 7 : Bassin en béton (<https://www.shutterstock.com/fr>).

Les bassins entièrement réalisés en béton armé présentent la meilleure étanchéité et la meilleure longévité, mais sont également les plus chers. C'est pourquoi une autre solution consiste à construire une dalle de béton sur laquelle sont montées les parois réalisées en parpaings enduits (fig.8).

La dalle doit reposer sur un sol correctement compacté et être coulée d'une seule pièce. Sur un sol sableux, on étale une couche de ballaste avant de couler la dalle.



Figure 8 : Bassin avec des parois réalisées en parpaings (<https://www.shutterstock.com/fr>).

Dans les bassins en béton ou en maçonnerie, les opérations de nettoyage et de désinfection sont plus aisées. Le contrôle des conditions d'élevage en est ainsi facilité. De ce fait, ils sont particulièrement bien adaptés au 1^{er} stade d'élevage (jusqu'à quelques dizaines de grammes).

2-4- Résine polyester :

Les bassins peuvent être construits en résine polyester (fig.9). Cependant, le prix de revient élevé limite l'emploi de ces matériaux aux bassins circulaire ou rectangulaire de petite taille (inférieure à 5m³).

L'avantage de ces bassins est leur mobilité et leur facilité d'entretien. C'est le matériau que l'on rencontre dans les installations de reproduction et d'alevinage.



Figure 9 : Bassin en résine polyester (<https://www.shutterstock.com/fr>).

3- Forme des bassins :

Les formes des bassins et les systèmes d'évacuation de l'eau sont nombreuses, mais leur performances (entretien, charge admissible, aspect sanitaire, etc....) peuvent être très différentes.

3-1- Raceway ou bassin couloir :

C'est un bassin cimenté ou en terre de forme rectangulaire allongée, traversé par un courant d'eau allant d'une extrémité (alimentation) à l'autre (évacuation par trop plein). La conception de ce type de bassin est comme suit :

Le rapport longueur (L) / largeur (l) est important lors de la conception des Raceway. Il est recommandé de ne pas avoir un rapport L / l inférieur à 6 (et cela pour éviter l'accumulation des saletés au centre à cause de la mauvaise circulation d'eau). De plus, la largeur ne doit pas être trop importante car elle entraîne une vitesse de courant faible. Ainsi, des dimensions telles que 20m×2m, 30m×3m ou 50m×4m donnent de bons résultats, la profondeur moyenne étant de l'ordre de 1m. La pente du fond est généralement 1% (fig.10).



Figure 9 : Bassin couloir ou Raceway (<https://www.shutterstock.com/fr>).

- **Fonctionnement en élevage :**

- La circulation dans ces bassins n'est pas satisfaisante, et même avec un débit élevé le courant reste faible et dans certaines zones l'eau n'est pratiquement pas renouvelée.
- Les vitesses de l'eau sont toujours assez faibles et incapables d'assurer une évacuation des déchets ce qui provoque une dégradation du milieu. Des nettoyages fréquents sont alors nécessaires qui peuvent se faire par simple abaissement du niveau d'eau dans le bassin.
- La faiblesse du courant ne permet pas une bonne répartition de la nourriture dans le cas de nourrissage automatique.
- L'évacuation par trop plein tend à éliminer plutôt la couche superficielle qui est la moins chargée en produits métaboliques.

Remarque : La forme du Raceway rend aisé le cloisonnement, la concentration et la pêche des poissons.

3-2- Bassin rectangulaire à courant rapide (type BURROWS) :

Il est de forme rectangulaire : 15 à 20m de longueur, 5m de largeur et 0,75 à 0,90m de profondeur, partagé par une cloison centrale s'arrêtant à 2,5m des extrémités. L'arrivée d'eau se fait par deux conduits verticaux percés de plusieurs orifices introduisant l'eau sous pression à différents profondeurs. Des guides ou déflecteurs placés dans les angles permettent un meilleur circuit hydraulique. L'évacuation se fait par deux grilles situées au sol en opposition de chaque côté du mur central. L'ensemble de ces aménagements aboutit, par rapport au Raceway, à une amélioration du courant d'eau et à l'élimination des déchets (fig. 11).

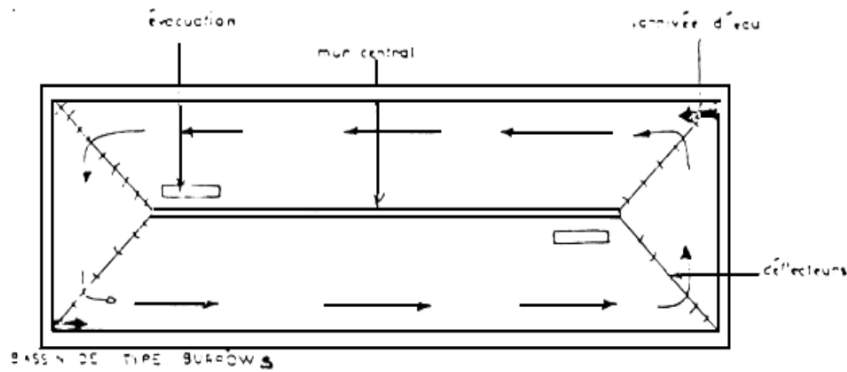


Figure 11 : Bassin rectangulaire à courant rapide (type BURROWS) (<https://www.shutterstock.com/fr>).

- **Fonctionnement en élevage :**

Ces bassins sont plus performants que les raceways en manière d'auto-nettoyage avec un débit de $90\text{m}^3/\text{h}$. Cependant, le temps de circulation des particules en suspension dans le bassin est long ; ce qui peut entrainer des irritations au niveau des branchies chez les poissons délicats (notamment les alevins). Les manipulations (concentration, pêche, etc.....) dans les bassins sont rendues délicates par la présence des cloisons des déflecteurs qui risquent en plus de blesser le poisson. De plus, l'entretien périodique est rendu plus difficile du fait de nombreuses parois. Le prix de revient est nettement plus élevé comparé au raceway classique.

3 3- Les bassins circulaires :

Ils sont à alimentation tangentielle. L'évacuation est centrale, le réglage du niveau d'eau se fait à l'extérieur par le tuyau d'évacuation par trop plein.

Le courant engendré par l'énergie de l'eau admise tangentiellement entraîne les particules vers l'évacuation centrale, et ceci d'autant plus facilement que la forme du fond est légèrement conique (pente de 5%). (fig.12).

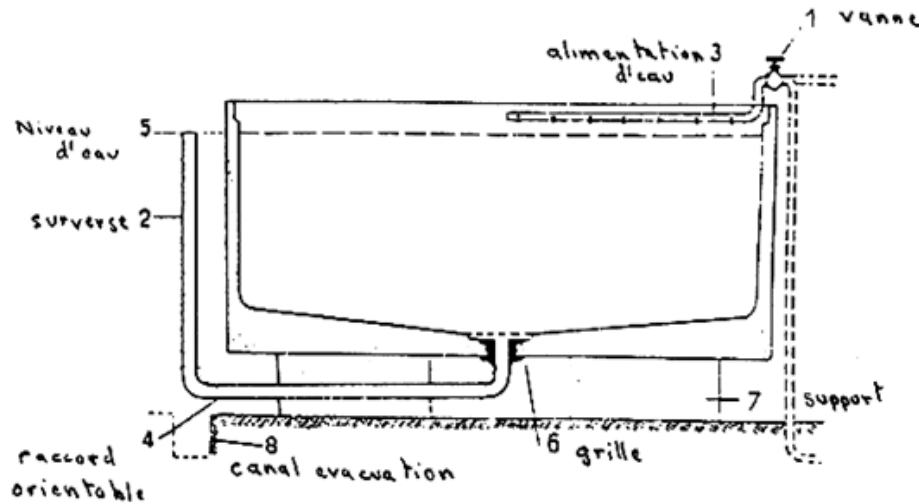


Figure 12 : Bassin circulaire (<https://www.shutterstock.com/fr>).

- **Fonctionnement en élevage :**

L'intérêt principal des bassins circulaires est l'auto-nettoyage engendré par le courant circulaire et une excellente répartition d'O₂ au sein de la masse liquide qui permettent des densités plus élevées de poissons (de l'ordre de 20%) par rapport aux bassins rectangulaires. Cependant, la vitesse élevée du courant n'induit pas que des avantages. L'effort de nage demandé aux poissons, plus important que dans les bassins rectangulaires, peut se traduire par une légère diminution des performances de croissance. Les différentes manipulations du

poisson sont plus délicates dans les bassins circulaires d'une certaine dimension. Le cloisonnement de ces bassins n'est guère possible.

4- Critère de choix et règles sommaires de construction des bassins :

4-1- Répartition des efforts :

La forme circulaire est la plus avantageuse de point de vue de la répartition des efforts sur les parois. Ainsi, ces dernières ont une épaisseur et un ferrailage plus faible que les bassins rectangulaires. Par contre, la réalisation des coffrages est plus sophistiquée. La forme circulaire est également mieux adaptée aux structures souples (armature rigide avec film plastique ou résine polyester).

Pour un raceway, l'effort exercé par la pression de l'eau sur les parois nécessite une construction plus robuste. Ainsi, le ferrailage et l'épaisseur du béton doivent être calculés en conséquence avec une bonne marge de sécurité. Dans le cas des constructions en maçonnerie, la présence d'un chaînage horizontal et vertical est nécessaire.

4-2- Occupation des sols :

Les structures circulaires offrent une mauvaise valorisation de l'espace disponible du fait de l'espace perdu entre les différents bassins. Les raceways sont, dans ce domaine là, beaucoup plus performants ; ceux en béton ou en maçonnerie pouvant être construits côte à côte avec une paroi commune.

Conclusion :

La forme circulaire offre l'avantage principal d'un circuit hydraulique amenant une concentration et une évacuation centrale des déchets. La répartition homogène des efforts sur les parois permet des constructions souples. Cependant, au-delà d'une certaine taille, les manipulations des poissons (concentration, pêche, tri, etc...) deviennent délicates. Ce type de bassin est conseillé pour l'élevage larvaire voir le pré-grossissement. Il est déconseillé au-delà.

Les raceways conviennent mieux au grossissement des poissons. Ceux en terre sont réservés à l'engraissement. Les structures en béton ou en maçonnerie conviennent pour tous les stades. Les bacs polyester rectangulaires sont réservés à l'alevinage. Enfin, les bassins avec film plastique présentent trop de risque d'endommagement. Ils permettent cependant de réaliser des bassins à moindre frais dans les terrains perméables.

Enfin, les bassins de type BURROWS, après avoir connu un engouement (*admiration soudaine qui ne dure pas longtemps*) en pisciculture intensive, sont actuellement peu utilisés.

5- Dimensionnement des installations :

5-1- Détermination des charges optimales d'un bassin "méthode de Liao 1971" :

Bien qu'encore imparfaite, cette méthode est actuellement la plus satisfaisante. Prés de 300 tests effectués dans différentes piscicultures ont permis de dresser un modèle mathématique qui intègre le poids du poisson, la température et le taux d'oxygène à l'entrée :

$$Q = K \cdot T^n \cdot W^m \quad (\text{Anglo-saxonnes}) \text{ où :}$$

Q : quantité d'oxygène consommée en livre/1000livre/jour, (1 livre = 500g).

K : facteur constant.

T : température en degré Fahrenheit.

W : poids des poissons en livre.

m : exposant ; pente de la droite représentant la fonction liant la consommation d'O₂ et le poids. [O₂ = f (w)].

n : exposant ; pente de la droite représentant la fonction liant la consommation d'O₂ et la température. [O₂ = f (T°C)].

- La fonction liant la consommation d'O₂ et la température : $O = K.T^n \implies K = O / T^n$
- Lorsque la consommation d'O₂ est déterminée, la charge optimale (au Kg/m³) est donnée par la formule :

$$ch = \frac{2,4 (Oa - Ob)}{O}$$

ch : charge admissible en kg /m³.

O : consommation d'O₂ en kg/100 kg de poisson.

O_a : taux d'oxygène à l'entrée.

O_b : minimum pour la truite = 5,5mg/l.

Chapitre II :
Approvisionnement en eau
en aquaculture

Introduction :

L'approvisionnement en eau est un élément essentiel de la ferme aquacole d'eau douce ou salée. L'évaluation des quantités et de des qualités d'eau diffère suivant les espèces, nous nous proposons de rappeler les valeurs admises ou établies, valeurs qui nous seront indispensables pour aborder l'étude des différentes parties du circuit hydraulique d'un élevage en milieu aquatique, qu'il soit en milieu ouvert ou contrôlé.

1- Critères quantitatifs et qualitatifs pour l'approvisionnement en eau d'un élevage aquacole :**1-1- Débit d'eau à l'approvisionnement :**

Le cas limite est représenté lorsque l'approvisionnement en eau doit compenser les pertes par infiltration ou évaporation, et satisfaire des besoins de remplissage après vidange partielle ou totale de l'installation. Ce cas se rencontre dans deux situations très différentes :

- a) Les élevages extensifs en étangs.
- b) Les élevages où l'on pratique un taux de recyclage complet de l'eau (aquarium, écloserie avec thermorégulation, élevage de laboratoire). Ces élevages comportent uniquement des animaux et le maintien des équilibres biologiques est confié à des procédés artificiels : pompage, filtration, etc....

En élevage intensif, le débit d'eau nécessaire sera plus important que les établissements seront peu mécanisés (pompage, aération, oxygénation, épuration) limitent les prélèvements d'eau au milieu extérieur (fig.1).

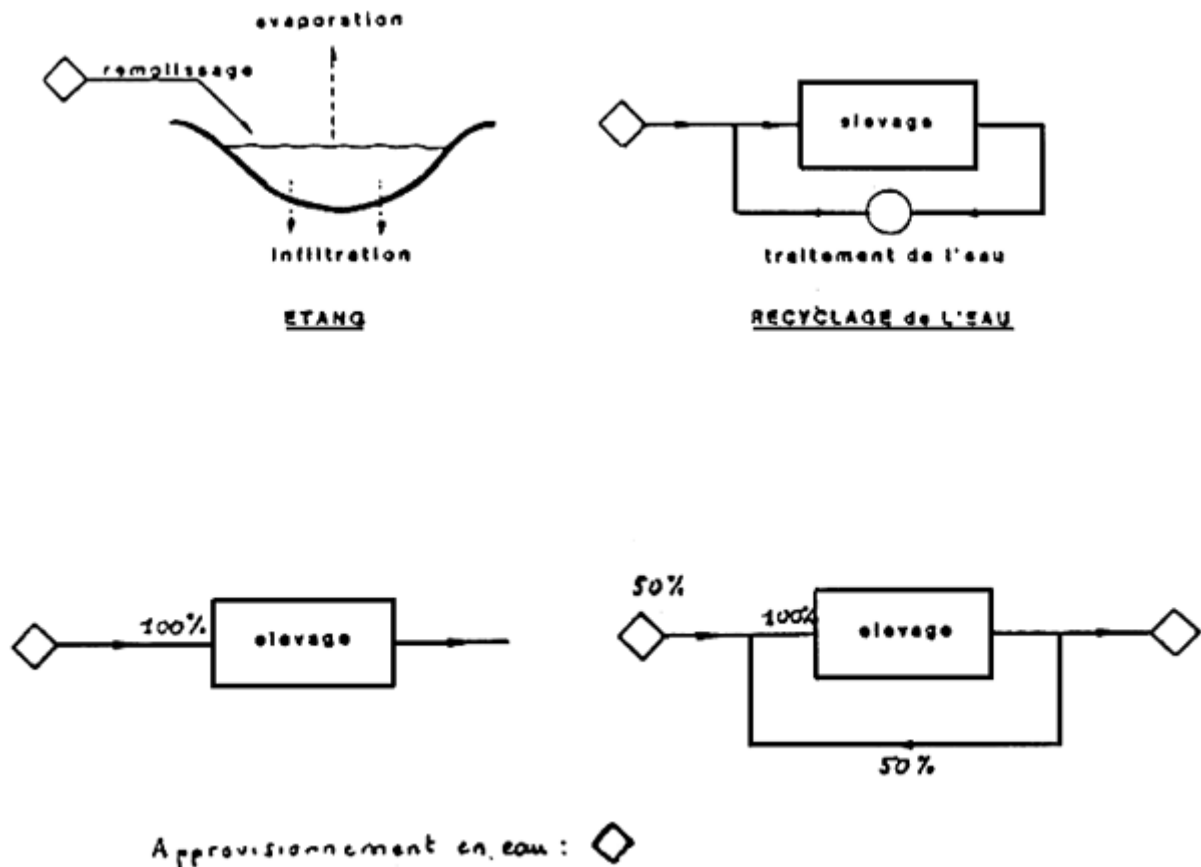


Figure 1 : approvisionnement en eau ; l'étang et la recirculation de l'eau à 100% sont les deux cas de systèmes en équilibre ne demandant qu'un appoint d'eau. Le 1^{er} cas fait appel à des équilibres naturels, le second dépend des procédés d'oxygénation et d'épuration mis en place. En élevage intensif sans recirculation, le débit demandé en approvisionnement sera maximum (FAO, 1986).

1-2- Débit d'eau dans l'élevage : fonction de l'eau en élevage

L'eau est nécessaire comme :

- Milieu d'élevage : le maintien du volume d'élevage suppose (exige et réclame) le maintien d'un débit compensant les pertes naturelles (évaporation et infiltration) et volontaire : renouvellement d'eau dus aux traitements sanitaires, aux nettoyages des installations...etc.

Le choix des structures (bassin en terre, en béton), la possibilité de couverture influenceront sur les besoins.

Les valeurs à affecter à des différents types de perte dépendent en effet des caractéristiques climatiques et pédologiques locales (température, hygrométrie, perméabilité...etc.).

- Transporteur d'oxygène : l'eau sert de transporteur d'oxygène dissous en amont de l'élevage, cette fonction, dans la pratique, peut être assurée en totalité par la mécanisation (aération, oxygénation).

En tant que transporteur d'oxygène, nous aurons à déterminer deux paramètres de l'eau de l'élevage :

- a) *La quantité d'oxygène* qu'il sera nécessaire d'introduire dans l'eau pour satisfaire les besoins des animaux (respiration, métabolisme...) (kg d'O₂/ heure).
- b) *La teneur en oxygène* à maintenir pour le confort des animaux (seuil en dessous duquel la croissance, la reproduction sont perturbées), il s'agit donc d'une concentration (gramme d'O₂/m³d'eau).

Ces deux paramètres varient avec l'espèce, la taille, la température, l'alimentation et l'activité des animaux.

Leur calcul va servir à dimensionner l'ensemble de système d'oxygénation qui comporte : l'eau d'apport, les dispositifs et machines de production d'O₂ dissous.

- Transporteur des résidus de l'exploitation : l'eau sert ensuite, en aval, de transporteur des résidus d'élevage (alimentaire ou de produits de métabolisme) limitant ainsi leur accumulation dans le milieu ; ces déchets sont évacués dans le milieu extérieur ou détruits à l'intérieur de l'élevage par des dispositifs d'épuration. Cette dernière peut être assurée, dans les petits élevages (aquarium, laboratoire, éclosier), par la mécanisation (recyclage de l'eau avec traitement)
- Signalant enfin que l'eau peut être un transporteur de nourriture, dans les élevages des bivalves, par exemple (fig.2).

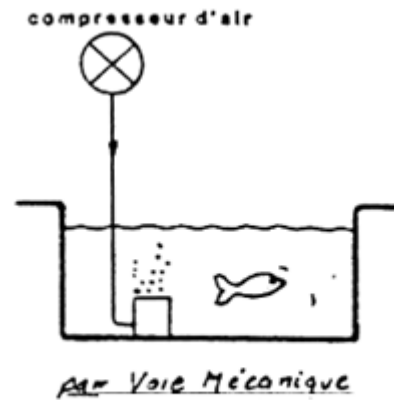
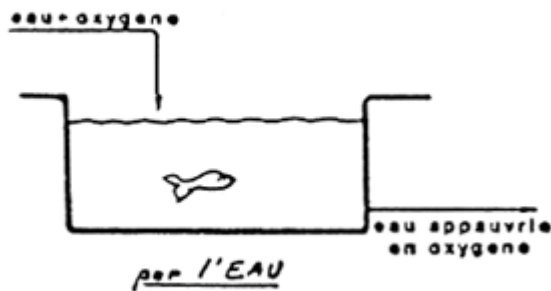
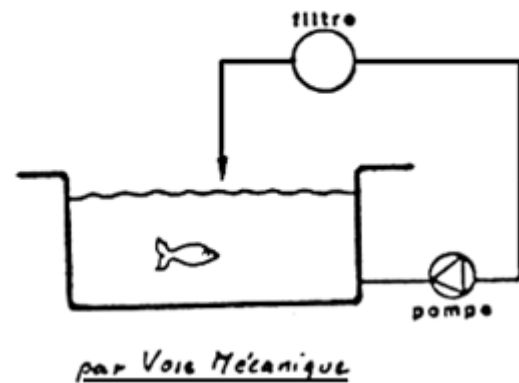
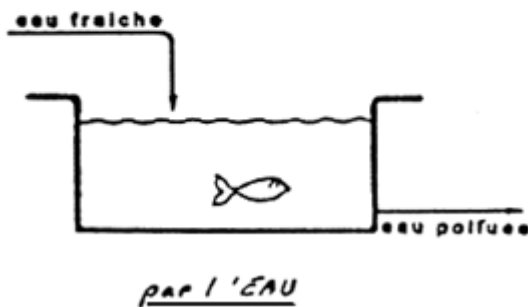
1) APPORT D'OXYGÈNE:2) EVACUATION DES RÉSIDUS:

Figure. 2 : Les fonctions de l'eau et leur équivalent mécanique (FAO, 1986).

2- Débit et besoin en oxygène :

2-1- Besoin moyen en oxygène :

La plupart des modèles de calcul se basent sur la taille des animaux et la température de l'eau pour évaluer la demande moyenne en oxygène. Comme ces deux paramètres servent également à déterminer la ration alimentaire, il est possible dans un élevage nourri, d'évaluer la quantité d'oxygène à fournir à partir de la quantité d'aliment distribué.

Pour obtenir une évaluation des besoins moyens journaliers en O_2 , il suffit de multiplier la quantité d'aliment déversé par un coefficient donné (voir la formule de Liao, 1971).

2-2- Besoin instantané en oxygène :

La connaissance des besoins moyens ne suffit pas pour dimensionner l'installation d'aération : par exemple, on observe après les repas, de fortes variations de la demande en O₂. D'autres facteurs entraînent des dépassements de la consommation de base, notamment toutes les baisses de la qualité d'eau (oxygène, ammoniac...etc.) et conduisent à avoir une oxygénation d'appoint par rapport à l'oxygénation principale.

3- Les objectifs de qualité d'eau dans l'élevage :

L'évaluation des quantités d'oxygène et de la quantité de déchets à évacuer permet de déterminer le débit d'eau requis (demandé) et la machinerie à acquérir (obtenir ou avoir). Le choix du site et du matériel suppose la connaissance précise des caractéristiques physicochimiques que l'on souhaite voir maintenues au niveau de l'eau des bassins. Ces paramètres mesurables avec des moyens relativement simples sont au nombre de 10 : la température, l'oxygène, le gaz carbonique, l'ammoniaque, le nitrite, le nitrate, le pH, l'alcalinité, les matières en suspension et la matière organique. Pour les eaux salées, il s'y ajoute la salinité.

D'autres paramètres sont à contrôler lors de l'évaluation du site : polluants de toute nature, métaux lourds...etc.

4- Maîtrise de l'eau : Aménagement et matériel.

4-1- L'aération et l'oxygénation :

Nous réservons le terme « Aération » aux procédés utilisant l'air, et le terme « Oxygénation » aux appareils utilisant l'oxygène industriel.

L'aération est un poste énergétique important en élevage intensif : 13 à 15% pour grossissement de truite en bassin, 23% dans une station d'alevinage.

L'objectif de l'aération est de faire passer l'oxygène gazeux contenu dans l'air à l'état dissous. L'avantage, c'est que l'air utilisé est gratuit. A cet avantage, s'associent deux inconvénients :

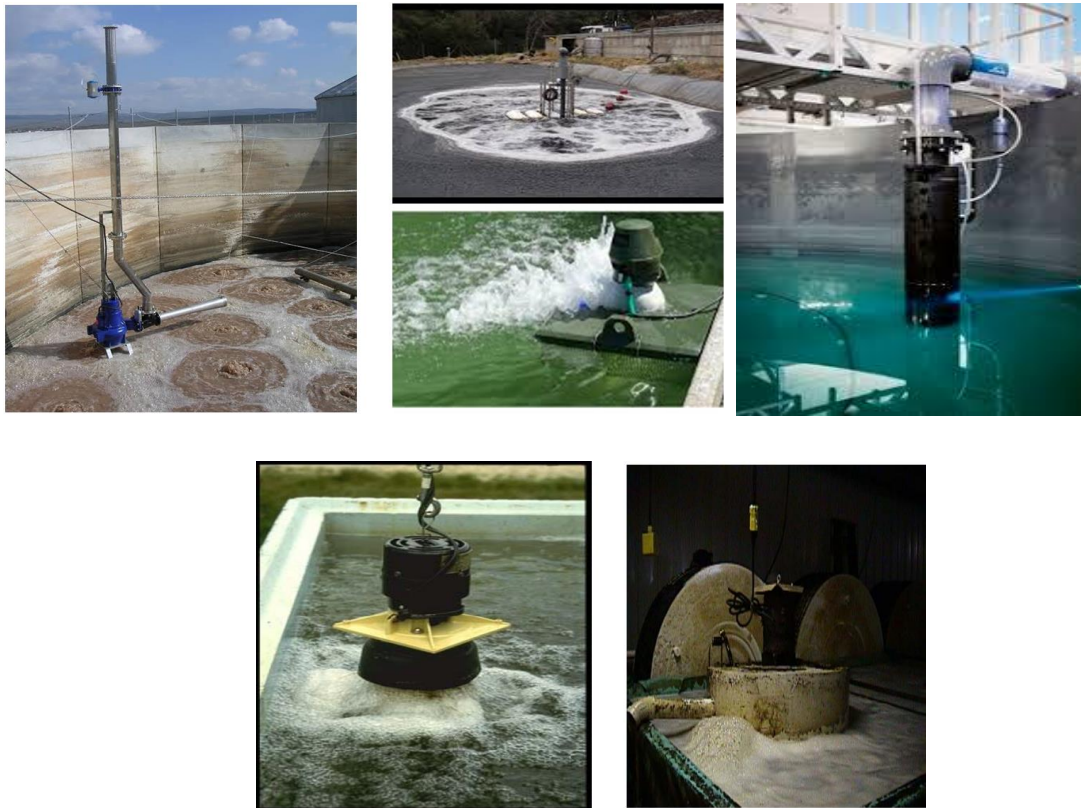
- L'air ne contient que 21% d'oxygène.
- L'air contient 78% d'azote.

En conséquence, l'appareil doit être efficace, puisque il travaille avec un gaz pauvre en O_2 , mais pas « trop efficace » car il peut dissoudre une quantité importante d'azote.

La dissolution d'oxygène résulte d'un ensemble de phénomènes dont chacun d'eux est utilisé de façon plus ou moins importante suivant les procédés :

- Enrichissement de l'air à l'aide d'oxygène industriel.
- Agitation de l'interface gaz-liquide : en effet, il existe un « film » s'opposant au passage des gaz dont l'épaisseur diminue avec l'agitation.
- Temps du contact gaz-liquide : plus les bulles resteront longtemps dans l'eau ou les gouttelettes d'eau dans l'air, plus l'oxygénation sera importante.
- Surface du contacte gaz-liquide : plus les gouttelettes ou les bulles seront petites, plus l'efficacité du dispositif sera grande.
- Plus le renouvellement de l'eau dans le volume de travail de l'aération sera importante plus le rapport kg d' O_2 dissous produit/ heure dépensé sera important.

Exemple : hydro-éjecteur, turbine, diffuseur, cascade,...etc (fig. 13)



Agitateur

Agitateur à bulles

Figure 13 : Quelques dispositifs d'aération en aquaculture (Ifremer Palavas - G. Lemarié 2009).

4-2- L'épuration des eaux :

Se pratique essentiellement en éclosérie. Les procédés mis en œuvre sont :

- a) **La décantation** : c'est l'élimination des particules solides par captage et dépôt sur un support, ex : décanteur cyclonique, décanteur lamellaire, bassin en terre naturel aménagé (couloir) « → Obtenir une sédimentation » (fig. 14 a et b).



Figure 14.a : décanteur cyclonique et lamellaire (Ifremer Palavas - G. Lemarié 2009).



Figure 14.b : décanteur circulaire et à plat (Ifremer Palavas - G. Lemarié 2009).

- b) **La filtration** : on distingue deux types de filtration :

❖ **Filtration biologique** : On désigne sous le terme filtration biologique des méthodes utilisant la propriété de certaines souches de bactéries (mitrosomonas, nitrobacter) de transformer certains polluants (fig. 15). En aquaculture, c'est la transformation de l'ammoniac toxique en nitrate qui est visée.

Les conséquences pour l'élevage sont :

- 1- Des difficultés importantes pour traiter les animaux en cas de maladies, la plupart des produits de traitement étant toxiques pour les bactéries épuratrices.
- 2- Une maintenance assez lourde ; le développement du film bactérien sur le support implique des lavages si on veut garder son efficacité et éviter l'apparition de processus anaérobie dangereux pour les poissons. Le pH doit être contrôlé et maintenu au-dessus de 6,8.

Le gain retiré de la mise en place de tel système c'est les résultats en élevage (croissance et reproduction).



Figure 15 : Filtre biologique (Ifremer Palavas - G. Lemarié 2009).

❖ **Filtration mécanique** : exemple :

- Filtre à sable : construit en polyester ou en acier avec revêtement spéciaux. Ils sont chargés d'une couche filtrante unique composée de sable naturel non concassé d'une granulométrie entre 0.5 - 1 mm sur hauteur d'environ 1m (l'eau passe de haut en bas).
- μ-filtre pression : utilisé en pré-filtration comme filtre à poche en plastique → l'eau passe de l'intérieur de la poche qui est nettoyable et réutilisable.



Figure 16 : Filtration mécanique : filtre à tambour (Ifremer Palavas - G. Lemarié 2009).

c) **Ecumage** :

Par définition, l'écumage est une technique retrait des impuretés pour purifier (un liquide ou son contenant) en retirant la mousse formée à la surface d'un fluide.

Donc le principe de cette technique consiste à provoquer l'apparition d'une mousse, qui est riche en composés azotés et qui peut contenir une quantité notable de particules.

Les eaux à la sortie des décanteurs sont récupérées sur des canaux semi-circulaires à ciel ouvert, ce qui favorise la ré-oxygénation puis après un parcours à vitesse accélérée (pente 3cm/m), elles passent à travers une chambre de flottation et d'écumage, où elles sont mises violemment en contact avec un nuage de microbulles d'air. Les particules en suspension trop légères pour être piégées dans les décanteurs sont alors partiellement récupérées et évacuées avec l'écume.

4-3- La désinfection des eaux :

- ❖ La stérilisation des eaux par les radiations U.V est l'une des méthodes de traitement les plus rencontrées en aquaculture.

Principe : l'eau circule au voisinage d'une lampe (longueur d'onde 2537Å°)

Condition : eau peu chargée de MES et en fer.

Cette technique se caractérise par certains avantages :

- Aucun composé toxique n'est formé par la désinfection U.V.
- Capacité de traitement de stérilisation U.V (1 à 1000 m³/heure).
- Temps de contact très court (quelque seconde suffira).
- Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont faibles.

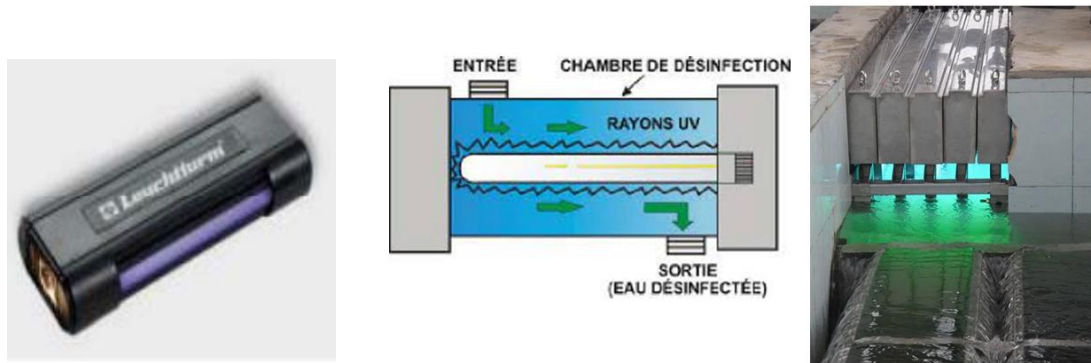


Figure 17 : Désinfection de l'eau par les radiations U.V

- ❖ L'Ozone (O_3) : utilisé pour les coquillages, reste d'application limitée vue la sensibilité des poissons aux résidus d'ozone (ex : la truite soumise à 0.01-0.06mg/l d' O_3 meurt en 24h).

Principe : l'eau réagit avec la matière organique pour l'oxyder rapidement :

5-8 mg $O_3/l \rightarrow$ 10 minutes stérilisation virale.

- ❖ Chlore : la stérilisation de l'eau d'apport par le chlore est également pratiquée en éclosion.

Principe : réagit avec la matière organique et favorise l'apparition d'halogène.

Problème : élément toxique pour les animaux aquatiques. Il faut que le résiduel chlore soit inférieur à 0.06 mg/l pour la vie aquacole.

Cependant une neutralisation au sulfite gazeux, facile à réaliser, évite le problème de toxicité.

4-4- Thermorégulation :

Principe : consiste à maintenir la température du local d'élevage à un niveau tel que l'eau qui y circule atteigne la température volue.

Moyen : les résistances électriques chauffantes offrent d'excellents rendements de 90% ex : pompe à chaleur, capteurs solaires...etc.

4-5- Le recyclage :

La réutilisation de l'eau permet d'accroître les stocks en place. Ce système présente certains avantages : économie d'espace et d'eau, meilleur contrôle de la qualité d'eau, possibilité de forte densité et taux élevé de production.

Cependant, il exige un système de filtration et d'aération très élaboré, alimentation de poissons coûteuse et de 1^{ère} qualité, matériels pour le traitement de l'eau d'un prix élevé.

En conclusion : la circulation de l'eau en circuit fermé se fait de la manière suivante : l'eau de bassin est recueillit dans une cuve de prise où une pompe en charge fait circuler l'eau au travers d'un filtre mécanique, d'un stérilisateur U.V, un filtre biologique et d'une régulation thermique avant d'alimenter le bassin (fig. 18).

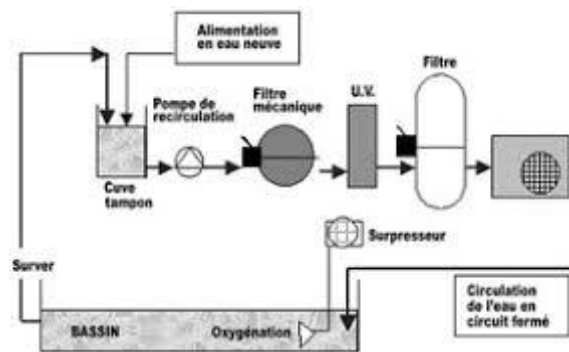


Figure 18 : Circulation de l'eau en circuit fermé.

5- Les prises d'eau :

Les besoins en eau étant établis, il convient de déterminer les ouvrages nécessaires pour amener l'eau dans l'élevage.

L'eau, milieu d'élevage, est utilisée de deux manières :

- Sur place : la structure d'élevage est implantée dans le milieu (ex : cages).
- Transportée à terre dans la structure d'élevage, soit naturellement par gravité soit artificiellement par pompage.

5-1- Les prises d'eau gravitaires :

Chaque fois que la topographie le permet, on cherche tout naturellement à exploiter au mieux le dénivelé (différence de niveau) sur le site pour éviter les frais de pompage.

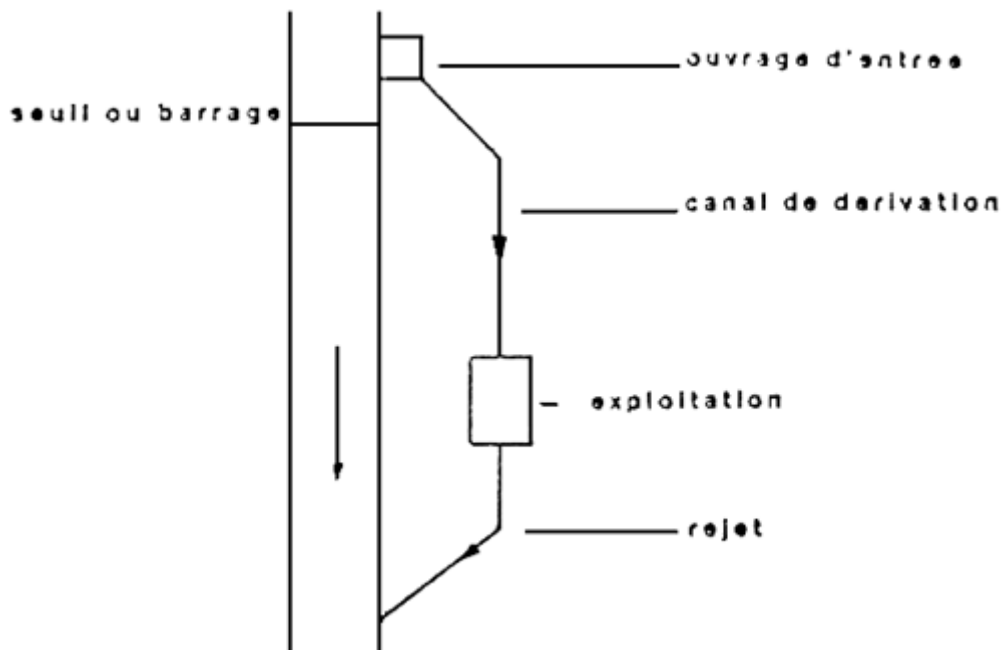
❖ Prise d'eau en rivière :

Figure 19 : Alimentation en dérivation (FAO, 1986).

Elle alimente l'exploitation à partir d'un ouvrage d'entrée suivi d'un canal ou d'une canalisation de dérivation.

Les éléments constitutifs de la prise d'eau sont :

- Un barrage ou un seuil édifié (construit, bâti) à l'aval de l'ouvrage d'entrée est pourvu d'un déversoir. Cet ouvrage est destiné à réguler le niveau du cours d'eau et assurer la charge nécessaire à la dérivation de l'eau.
- L'ouvrage d'entrée ; constitué par un élément de canal ou une base limitée par un seuil. L'emplacement est sur la rive extérieure de la rivière. Cet emplacement permet de capter essentiellement les eaux de surface et d'éviter l'apport de matériaux charriés par la rivière.
- Canal ou conduite de dérivation : généralement des canaux en terre, dans ce type de prise, qui alimentent les étangs. Les vitesses maximales de l'eau pour éviter l'érosion des parois se situent entre 0.15 à 1 m/s.
- Les organes de réglages du débit dérivé : vannes, planchettes amovibles...etc.
- Les ouvrages de protection : contre les éléments charriés (feuilles, branches...) par le cours d'eau. Ces derniers peuvent obstruer les entrées dans les bassins ce qui diminue le débit dans le canal de dérivation. A cet effet, on trouve sur le canal de dérivation des grilles et des organes de dessablage. La grille la plus en amont, délimite l'enclos piscicole et isole les poissons d'élevage du milieu naturel.

5-2- Les prises d'eau par pompage :

L'utilisation du pompage peut permettre d'atteindre des ressources en eau intéressantes, mais inaccessibles par prise d'eau gravitaire : nappe phréatique, puits...etc.

a) Généralité sur les installations de pompage :

Une installation de pompage se compose de quatre éléments qui sont :

- Le groupe de pompage comprenant la pompe proprement dite et le moteur qui l'actionne.
- Les modes d'énergie à retenir pour leur fonctionnement (généralement c'est le courant électrique).
- L'appareillage de mise en œuvre (vanne, capets, alarme...).
- Eventuellement le bâtiment abritant les équipements (le ou les groupes de pompage ainsi que les divers équipements annexes ex : armoire de commande, transformateur ou groupe électrogène de secours...).
- La prise d'eau.
- La conduite de refoulement ou de rejet assurant la liaison entre la pompe et les ouvrages d'alimentation des bassins d'élevage.

b) Différents types de pompe utilisés en aquaculture :

Généralement, les pompes les plus fréquents utilisées en aquaculture sont :

- **Les pompes centrifuges** : Lorsque l'élévation atteint ou dépasse la dizaine de mètres (hauteur > 15m), ou pour les faibles débits.
- **Pompe à hélice** : lorsque l'élévation ne dépasse pas quelques mètres (hauteur < 15m) et que les débits sont importants (quelques centaines de m³/heure et plus).
- **Les élévateur à hélice ou Vis d'Archimède** : permet l'élévation de débit important (2m³/s) à des faibles profondeurs (hauteur < 10m).

c) Élément de base pour le calcul et le choix des pompes :

1- **Le débit** : désigné par **Q**, le débit de la machine est le volume de liquide élevé pendant l'unité de temps s'exprime le plus souvent en l/s ou en m³/h.

2- **Hauteur géométrique (Hg)** : mesure la distance verticale qui sépare deux niveaux (en mètre). Selon la position de la pompe, on distingue :

→ La hauteur géométrique d'aspiration (Hg.a) : entre le plan d'eau et la pompe.

→ La hauteur géométrique de refoulement (Hg.r) : entre la pompe et le niveau d'utilisation.

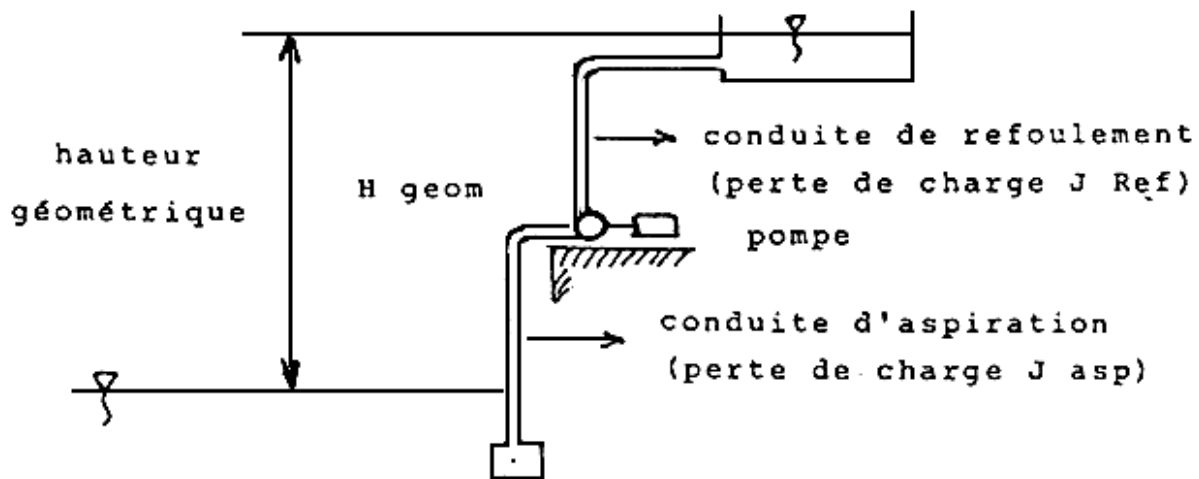


Figure 20 : Hauteur géométrique (FAO, 1986).

3- Perte de charge : représente les pertes de pression dues aux différents obstacles s'opposant au déplacement de fluide pompé. On distingue deux types de perte :

→ Les pertes de charge en ligne (J) : produites par le frottement du fluide sur les parois des conduites (noté en pratique en mètre de hauteur d'eau par mètre linéaire de canalisation).

→ Les pertes de charge singulière (Dh) : Certains obstacles (coudes, vanne...) freinent le passage de l'eau et créent des pertes de charge singulières (Dh en m/m).

Les pertes de charge en ligne sont déterminées par des abaques ou tableaux fournis par les fabricant de canalisation, les pertes de charges singulières figurent dans des ouvrages spécialisés.

4- Hauteur manométrique : La hauteur Manométrique totale (HMT) est la somme de la hauteur géométrique et de perte de charge.

$$\text{HMT} = \text{Hg} + \text{J} + \text{Dh} \quad (\text{en m})$$

5- Puissance-Rendement : le travail effectué par la machine dans l'unité de temps ; c'est-à-dire la puissance hydraulique (PH) qu'elle manifeste, s'exprime comme suit :

$$\text{PH} = \text{W} \cdot \text{Q} \cdot \text{HMT}$$

PH : puissance hydraulique en kg m/s (le kg m/s = 9.8 w)

W : poids spécifique de l'eau en kg/m³.

Q : débit à transité en m³/s.

HMT : hauteur manométrique total.

On appelle rendement du groupe motopompe le rapport :

$$\Gamma = \frac{\text{PH}}{\text{P}}$$

P : étant la puissance globale.

Les rendements des pompes classiques varient de 0.5 à 0.8.

Quelques formules pratiques permettant de calculer la puissance d'une installation :

$$P = \frac{Q (H_g + J + D_h)}{366 \cdot r}$$

P : puissance en kw.

H_g : hauteur géométrique total en m.

Q : débit en m³

J+D_h : perte de charge total en m

r : rendement de la pompe.

$$P = \frac{Q (H_g + J + D_h)}{75 \cdot r}$$

P : puissance en CV \Rightarrow (1 CV= 0.736 kw) (CV : cheval vapeur).

Q : débit en l/s.

Le choix d'un type de pompe doit être fait en accord avec les caractéristiques hydrauliques de l'installation (débit, HG), mais aussi les conditions particulières (pompage en bordure de lagune ou mer, nature de terrain,..).

d) Spécificité de pompage en milieu marin :

Le fait que le pompe s'effectue an milieu marin pose un certain nombre de difficultés techniques à:

- la corrosion,
- le transport de sable,
- le développement d'organismes marins (moules, balanes) dans les canalisations.

Les matériaux modernes tels que : acier inoxydable, matières plastiques (polyéthylène, résine polyester) permettent de lutter efficacement contre la corrosion.

La lutte contre le sable est beaucoup plus difficile à réaliser. Il faut prévoir nettoyages fréquents des cuves de pompages et des bassins de décantation.

D'autre part, l'envahissement des canalisations par les organismes marins n'a pas encore trouvé de solutions satisfaisantes. Il faut prévoir des vitesses élevées dans les canalisations (> 1,5 m/s) et prévoir des regards permettant un nettoyage aisé des canalisations.

Tableau1 : Abaque des pertes de charges linéaires (FAO, 1986)

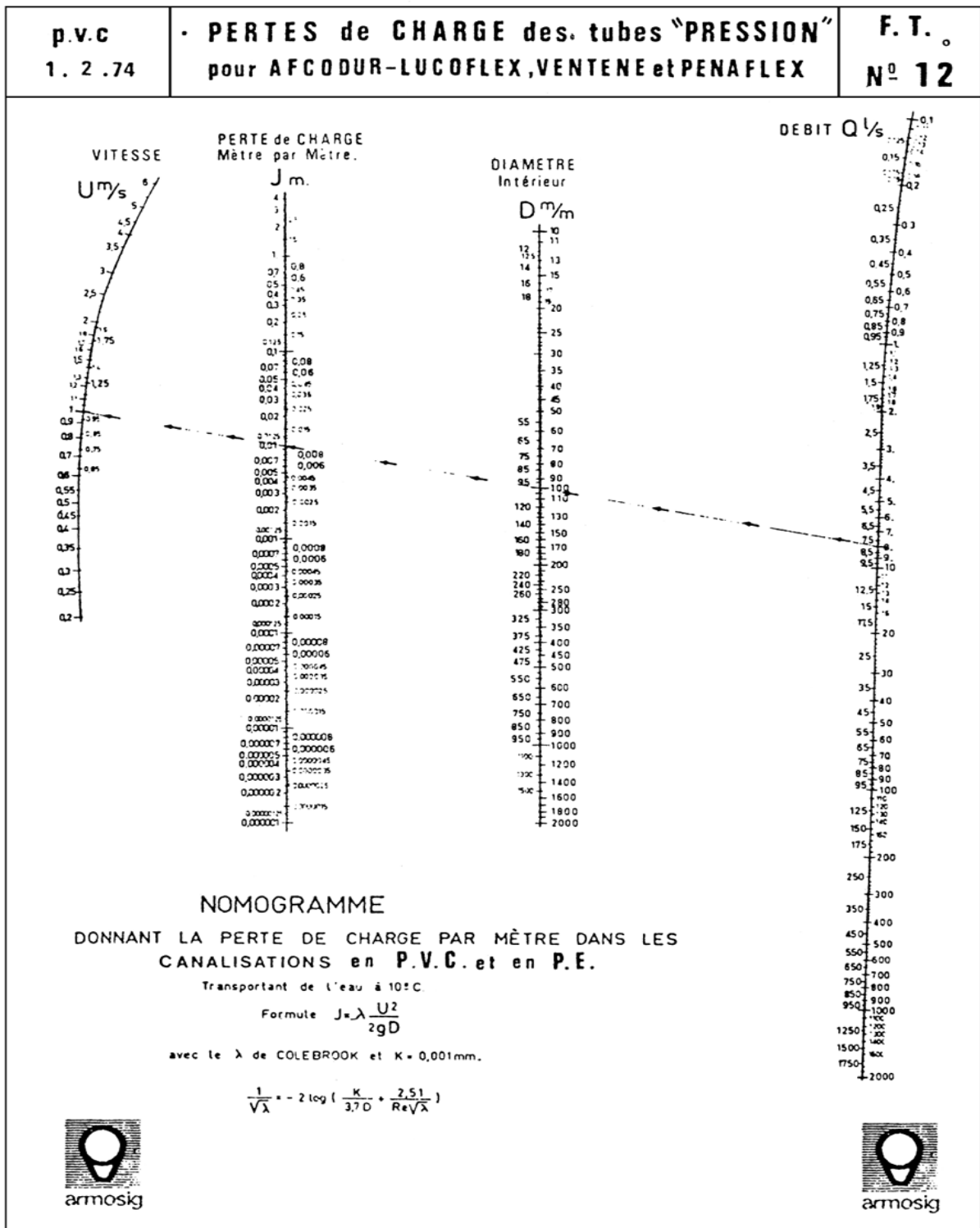
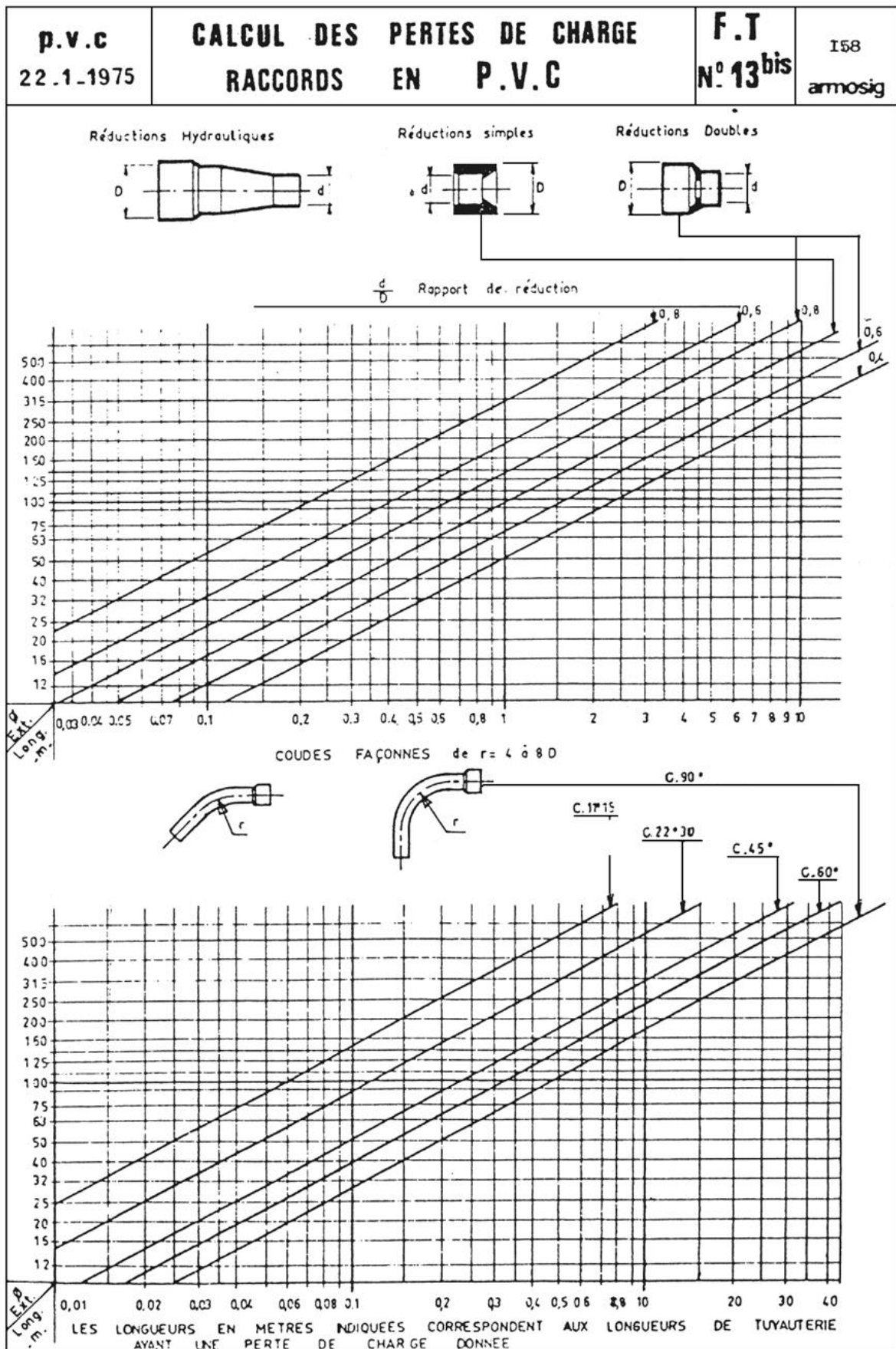


Tableau 2 : Abaque des pertes de charges singières (FAO, 1986).



Chapitre 3 :

Les étangs et leurs ouvrages

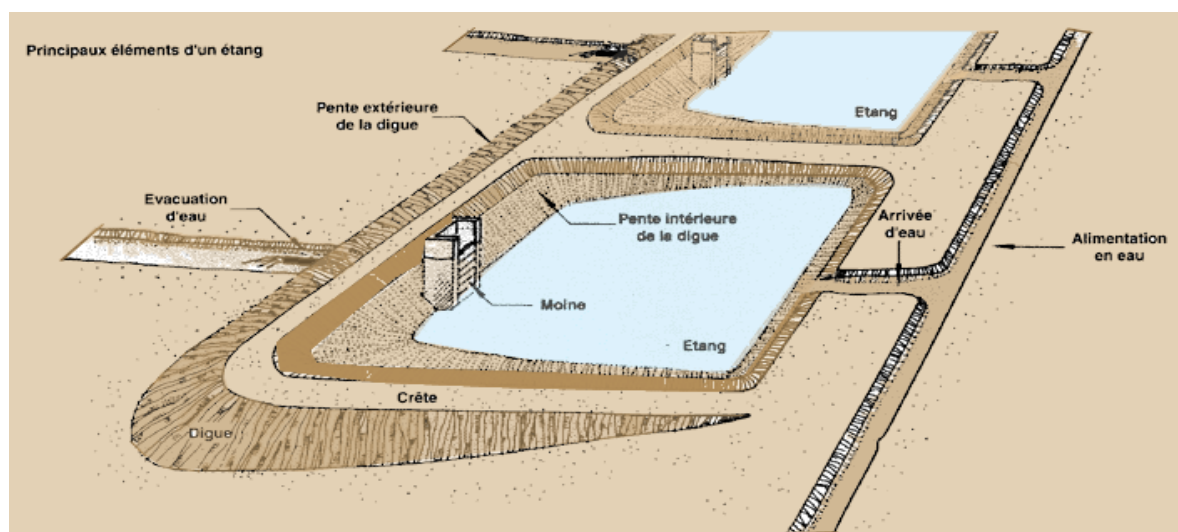
Introduction :

La production piscicole mondiale repose en grande partie sur l'utilisation des étangs de terre qui contiennent de l'eau douce, la renouvellent, reçoivent des engrais ou des aliments et permettent le stockage, l'élevage et la récolte des poissons. La construction des étangs et des ouvrages qui leur sont associés comporte des préparatifs et des travaux appropriés ; en outre, les étangs doivent être peu coûteux à construire, cependant, le contrôle de la qualité de l'eau du milieu est plus difficile à maîtriser.

1- Eléments d'un étang piscicole :

Bien qu'il existe de nombreux types d'étangs piscicoles, voici les principaux éléments et ouvrages associés à chacun d'eux:

- les *digues*, qui retiennent l'eau dans l'étang;
- les *canaux*, qui amènent ou évacuent l'eau de l'étang;
- les *dispositifs de régulation*, qui contrôlent le niveau de l'eau ou son débit à travers l'étang, ou bien les deux;
- les *chemins et voies de desserte*, qui longent l'étang et permettent d'y accéder;
- les *installations de récolte* et autres équipements destinés à la gestion de l'eau et des stocks piscicoles. (fig.1).



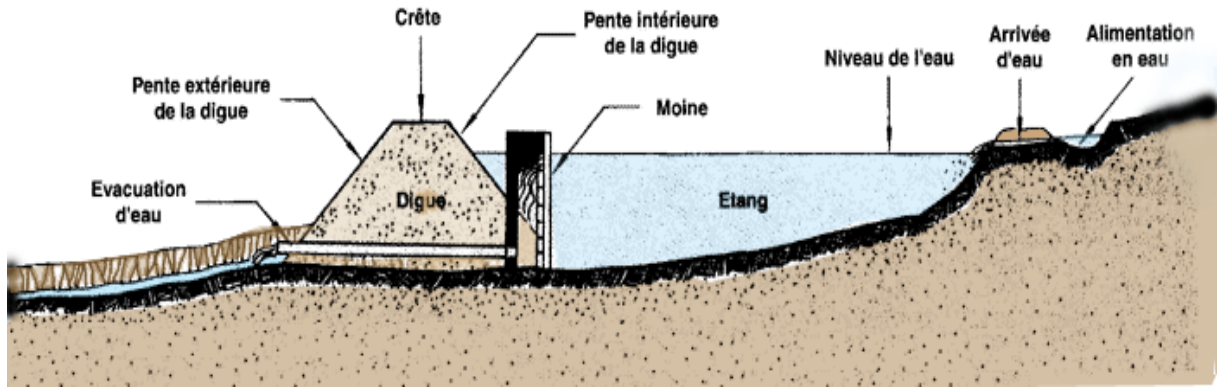
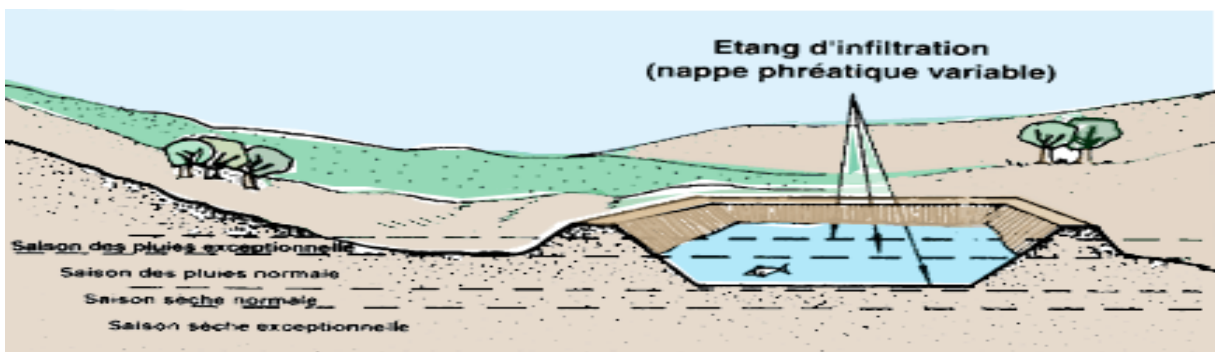
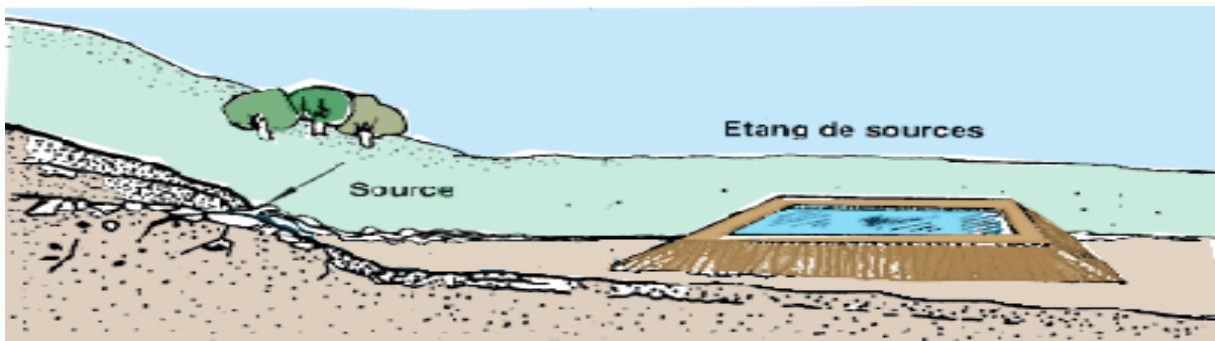


Figure1: Les éléments d'un étang piscicole (FAO, 2006).

2- Les principaux types d'étangs :

Les étangs piscicoles diffèrent selon :

→ L'origine de l'eau d'alimentation (étang de source, étang d'infiltration, étang d'eau pluviale, par un plan d'eau ex : rivière ou lac, par pompage) (fig. 2).



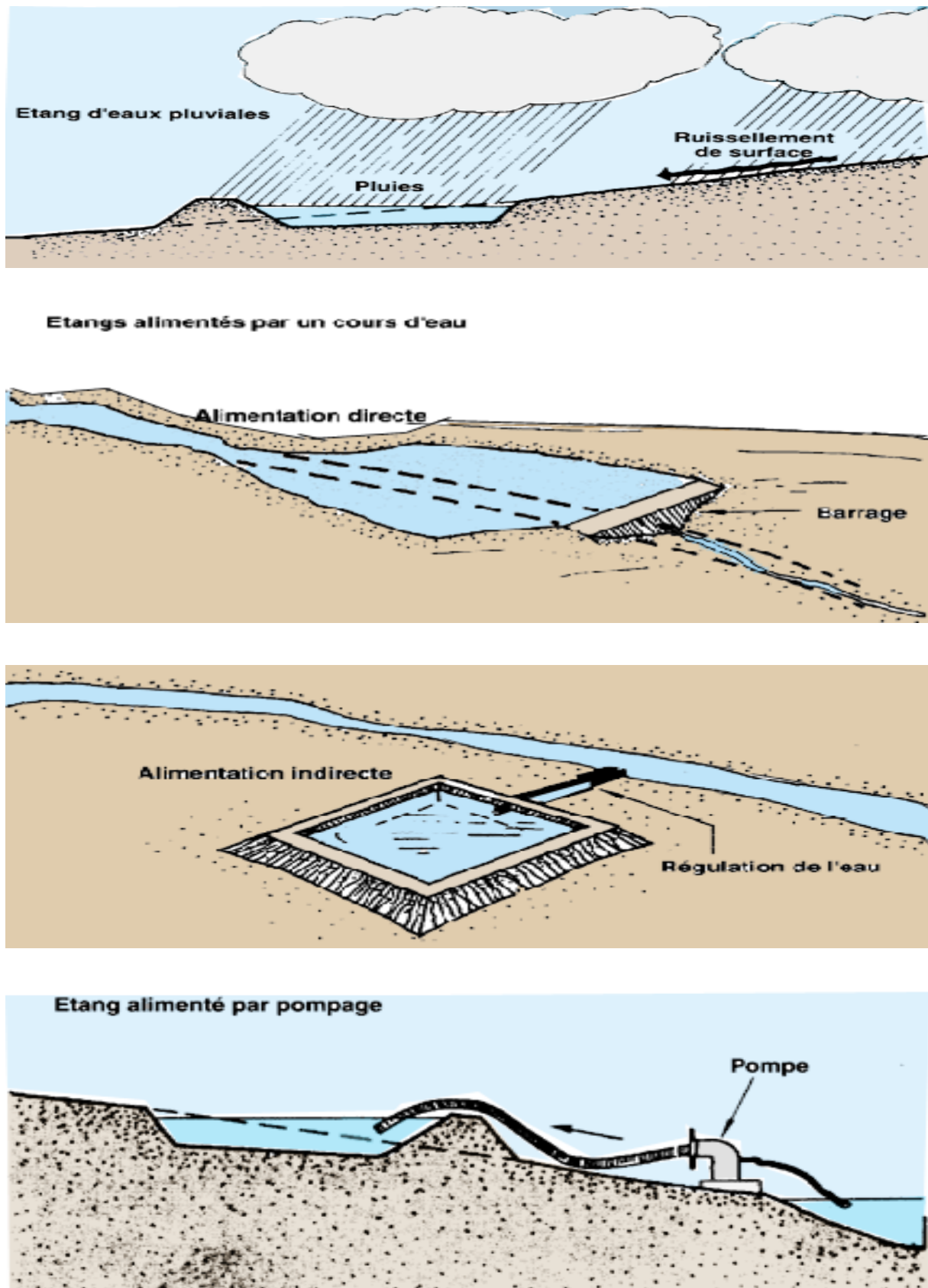


Figure 2 : les étangs selon l'alimentation en eau (FAO, 2006).

→ La façon de les vidanger c'est-à-dire selon les moyens de drainages (les étangs non vidangeables, les étangs vidangeables par gravité ou par pompage) (fig. 3).

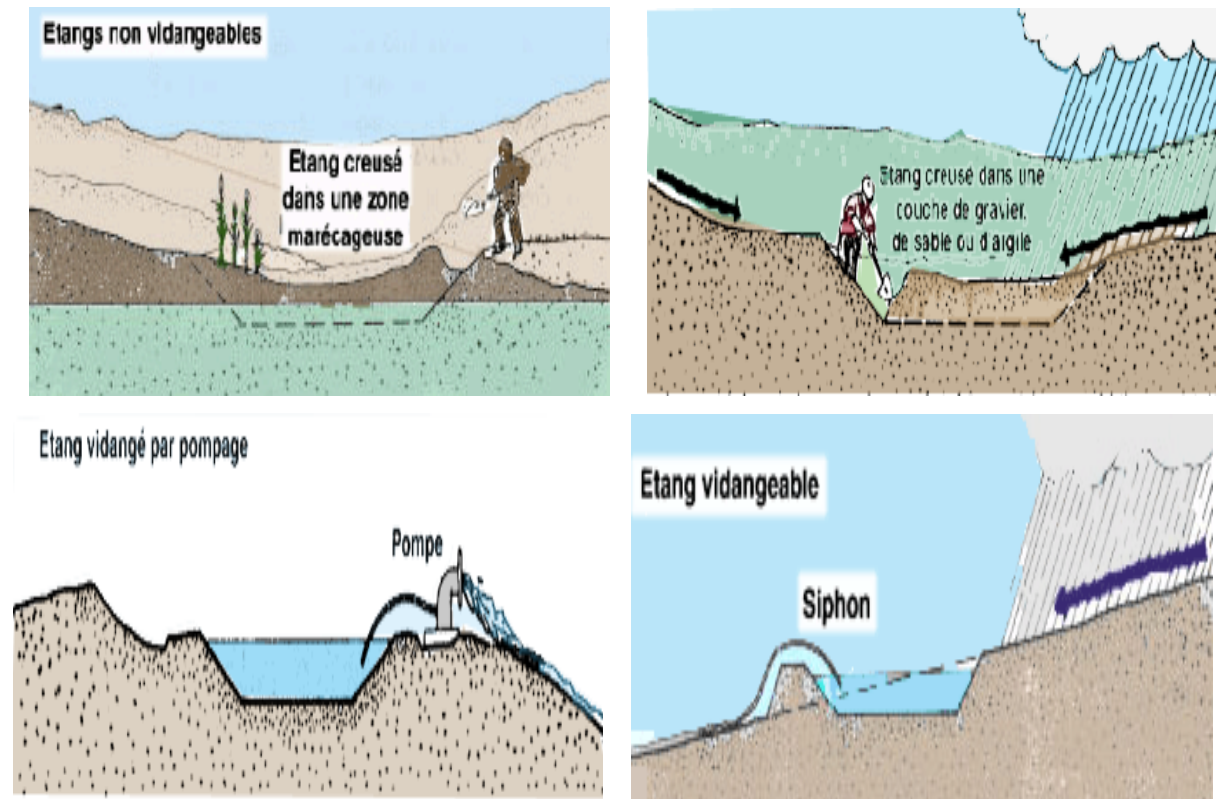
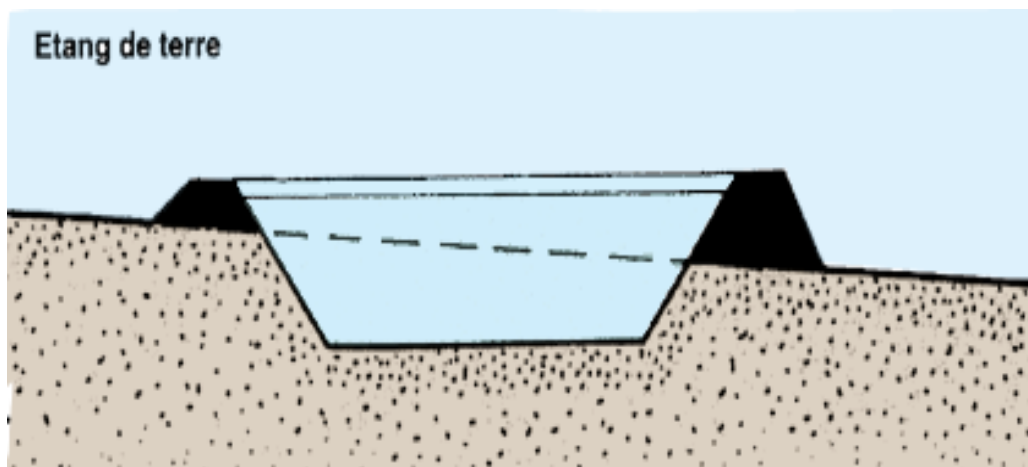


Figure 3 : Les étangs selon les moyens de drainage (FAO, 2006).

→ Les matériaux et procédés de construction (les étangs de terre, les étangs en maçonnerie, les étangs à revêtement d'étanchéité) (fig.4).



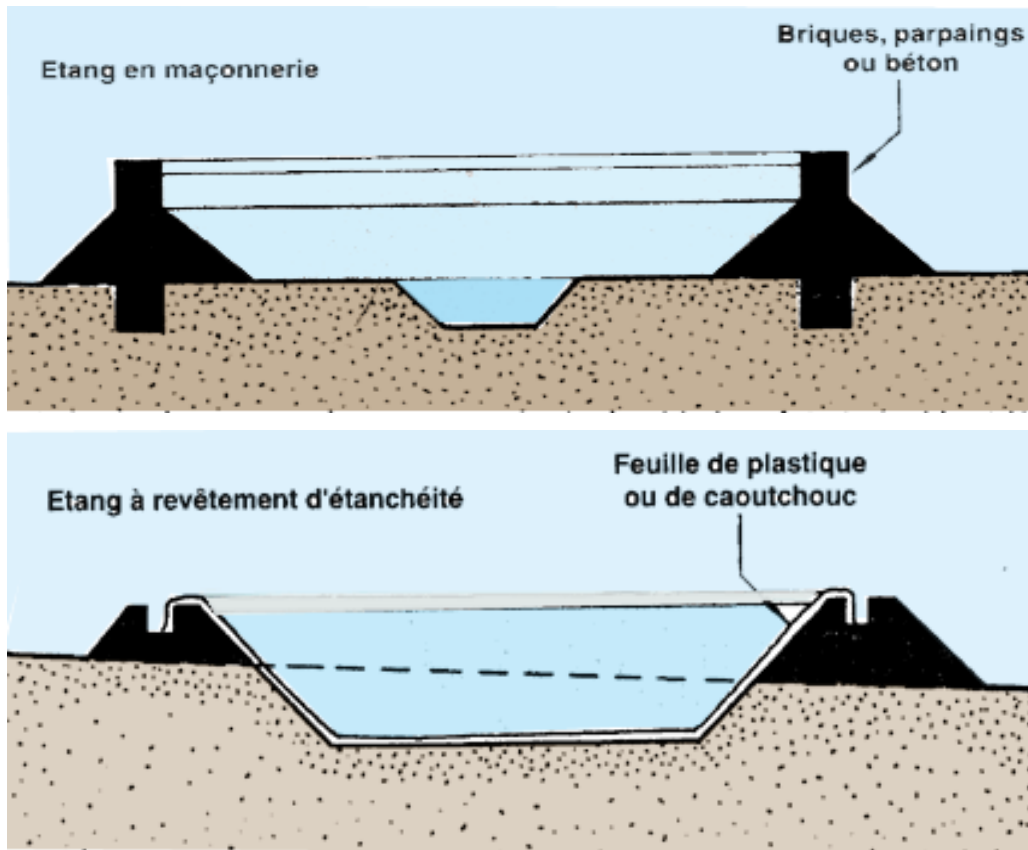
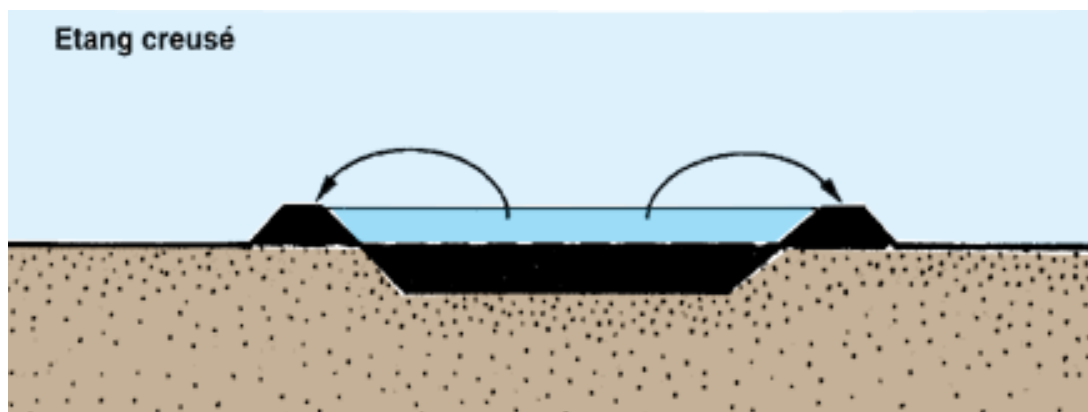


Figure 4 : les étangs selon les matériaux de construction (FAO, 2006).

→ La technique de construction (les étangs creusés réalisés par excavation, les étangs endigués réalisés sans excavation, les étangs creusés et endigués) (fig. 5).



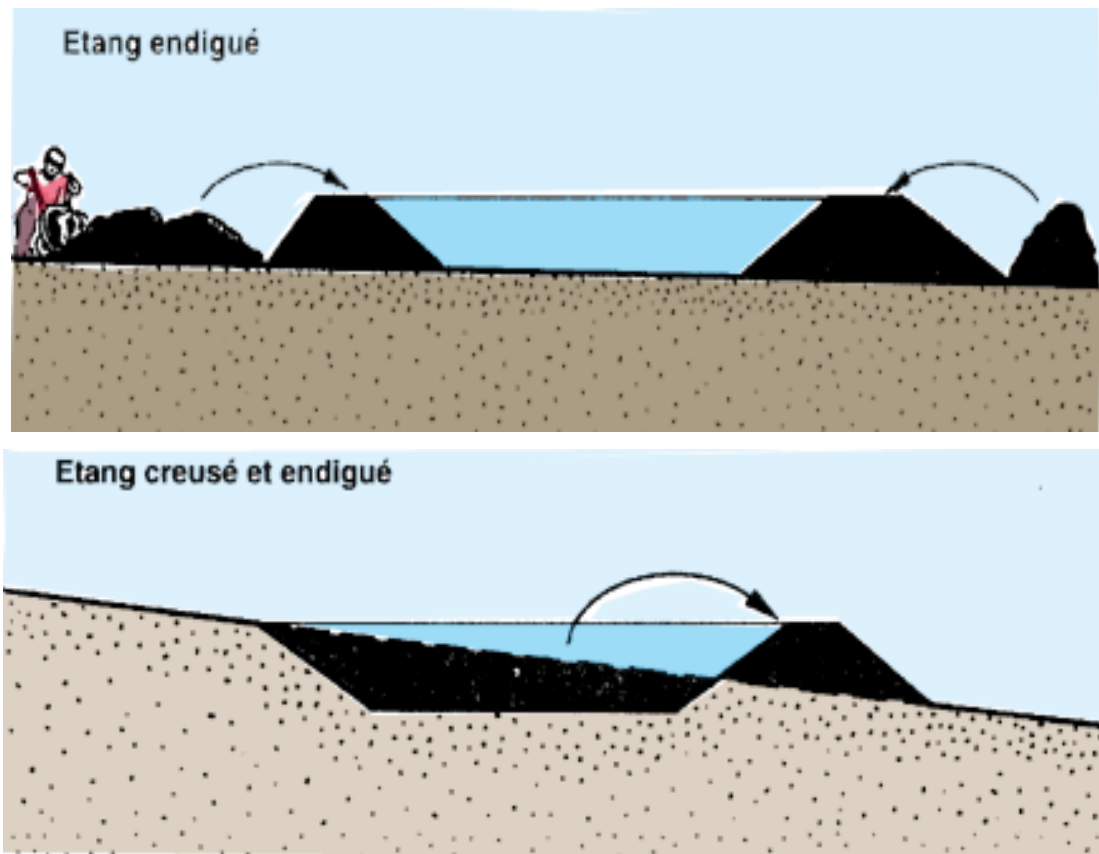


Figure 5 : les étangs selon les techniques de construction (FAO, 2006).

→ Enfin, selon le type d'utilisation de l'étang (étangs à reproducteurs, les étangs frayère; les étangs d'alevinage, les étangs de stockage ou de stabulation, les étangs de grossissement, Les étangs d'hivernage) (fig. 6).

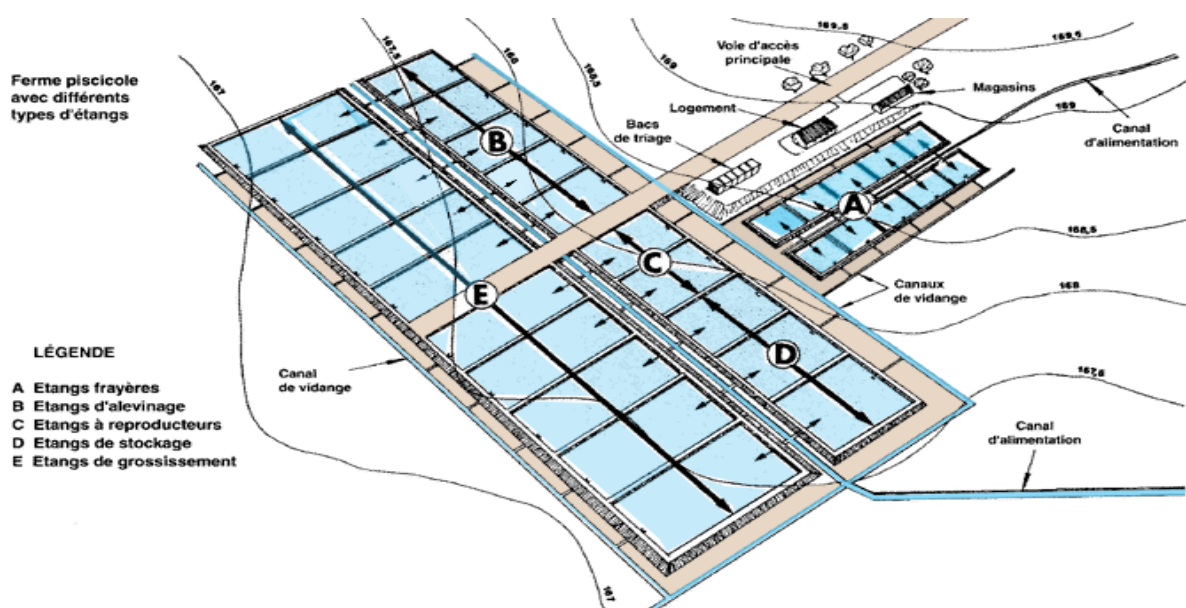


Figure 6 : les étangs selon le type d'utilisation (FAO, 2006).

Donc, il existe plusieurs types d'étangs. Comme indiqué au tableau 1, ils peuvent être commodément regroupés en 3 types principaux selon la façon dont l'étang s'intègre au site :

2-1- Etang en déblai :

Le fond de l'étang est généralement au-dessous du niveau des terrains voisins (fig. 7). L'étang est directement alimenté par des eaux souterraines, les pluies et/ou le ruissellement de surface. Il peut être alimenté par pompage, mais ce n'est généralement pas le cas.

L'étang en déblai est non vidangeable ou seulement partiellement vidangeable car construit comme un *étang creusé* ou pour utiliser un *creux* ou une dépression du sol, parfois avec adjonction de digues pour en accroître la profondeur.

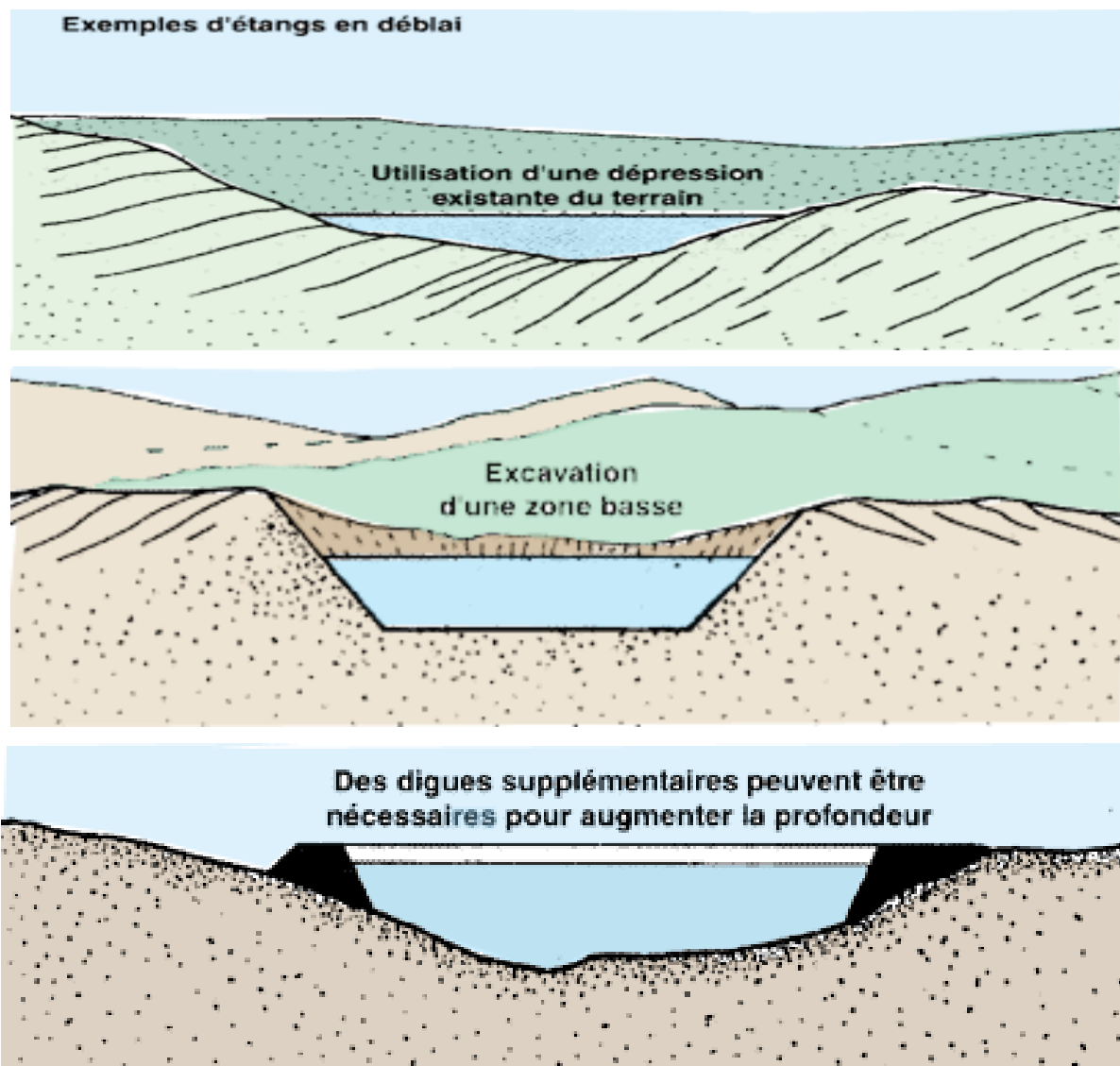


Figure 7 : Etang en déblai (FAO, 2006).

2-2- Etang de barrage :

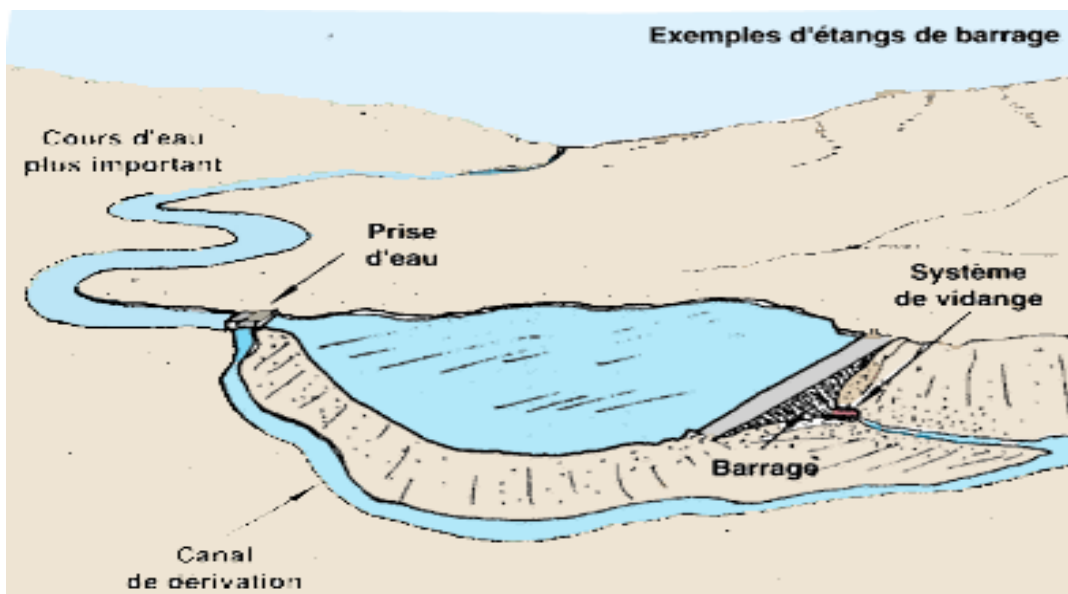
Il est établi au fond d'une vallée par construction d'une digue en travers de la partie basse de la vallée. Les étangs de ce type peuvent être construits en chapelet le long de la vallée (fig. 8).

L'étang de barrage peut être vidangé par l'ancien lit du cours d'eau.

En cas de crue importante, l'excès d'eau est normalement détourné sur un côté de l'étang, de manière à maintenir dans l'étang un niveau d'eau constant. Un canal de dérivation est construit à cette fin; l'alimentation en eau est ensuite réglée par un ouvrage appelé prise d'eau.

Remarque: Provenant directement d'une source, d'un cours d'eau ou d'un réservoir voisin, l'eau pénètre dans l'étang en un point appelé arrivée d'eau et elle en sort en un point appelé sortie d'eau.

La protection de la digue contre les crues exige la construction d'un **déversoir** (un obstacle mis en travers d'un cours d'eau pour forcer toute l'eau à passer par une échancrure pratiquée à cet effet. Il en existe différents types et modèles. ex: le déversoir triangulaire et le déversoir rectangulaire (fig. 9)).



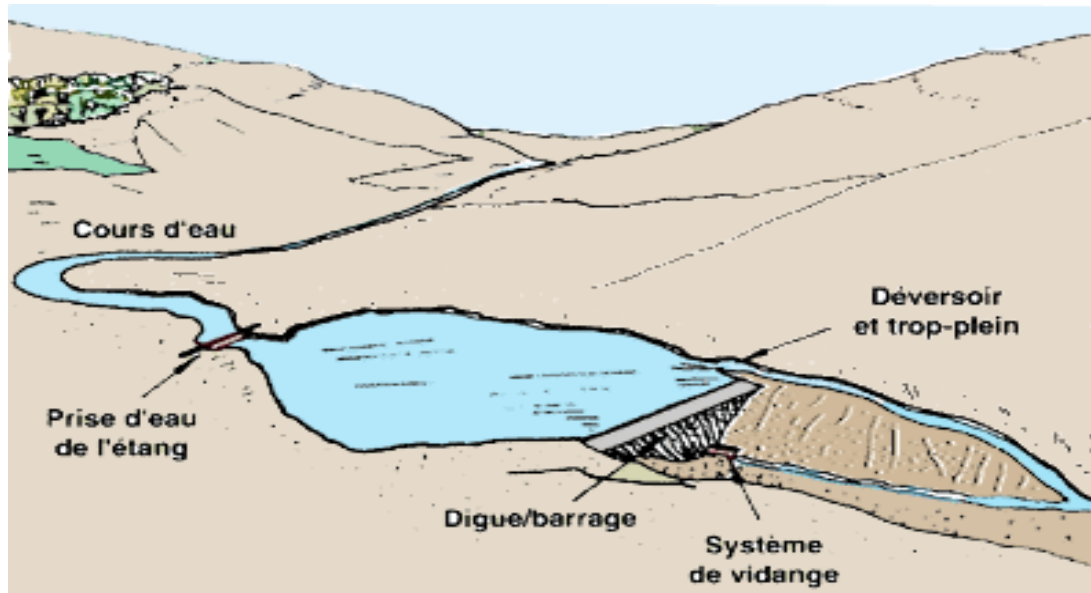


Figure 8 : Etang de barrage (FAO, 2006).

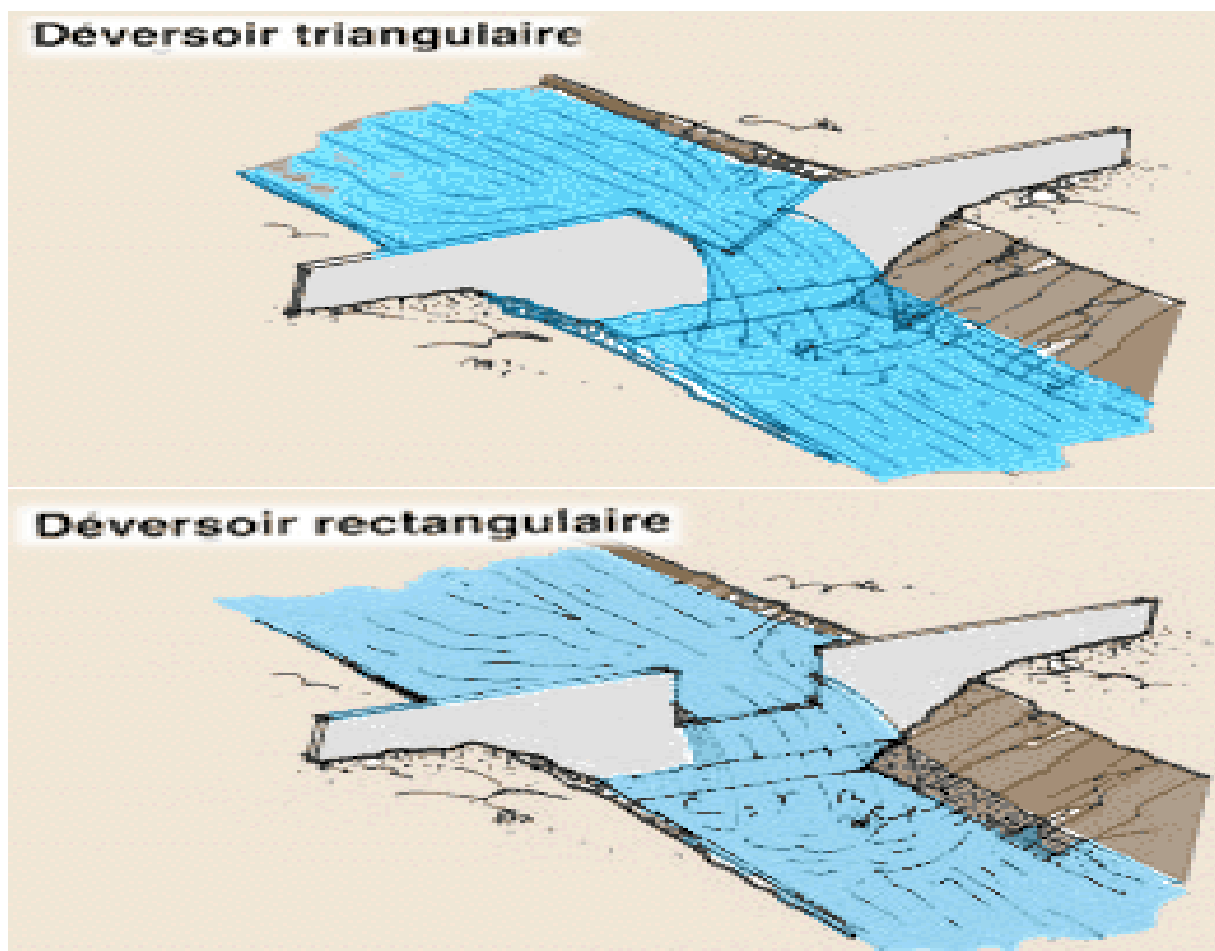


Figure 9 : Déversoir mis en travers d'un cours d'eau (FAO, 2006).

2-3- Etang en dérivation :

L'étang en dérivation (fig. 10) est alimenté indirectement par gravité ou par pompage par un canal de dérivation (qui devient le canal principal d'alimentation), à partir d'une source, d'une rivière, d'un lac ou d'un réservoir. Le débit d'eau est contrôlé par une prise d'eau. Chaque étang possède une arrivée d'eau et une sortie d'eau.

L'étang en dérivation peut être construit:

- soit sur un terrain en pente comme un étang creusé et endigué;
- soit sur un terrain plat comme un étang endigué à quatre digues, appelé étang de type rizière.

Il est habituellement vidangeable par un canal de vidange.

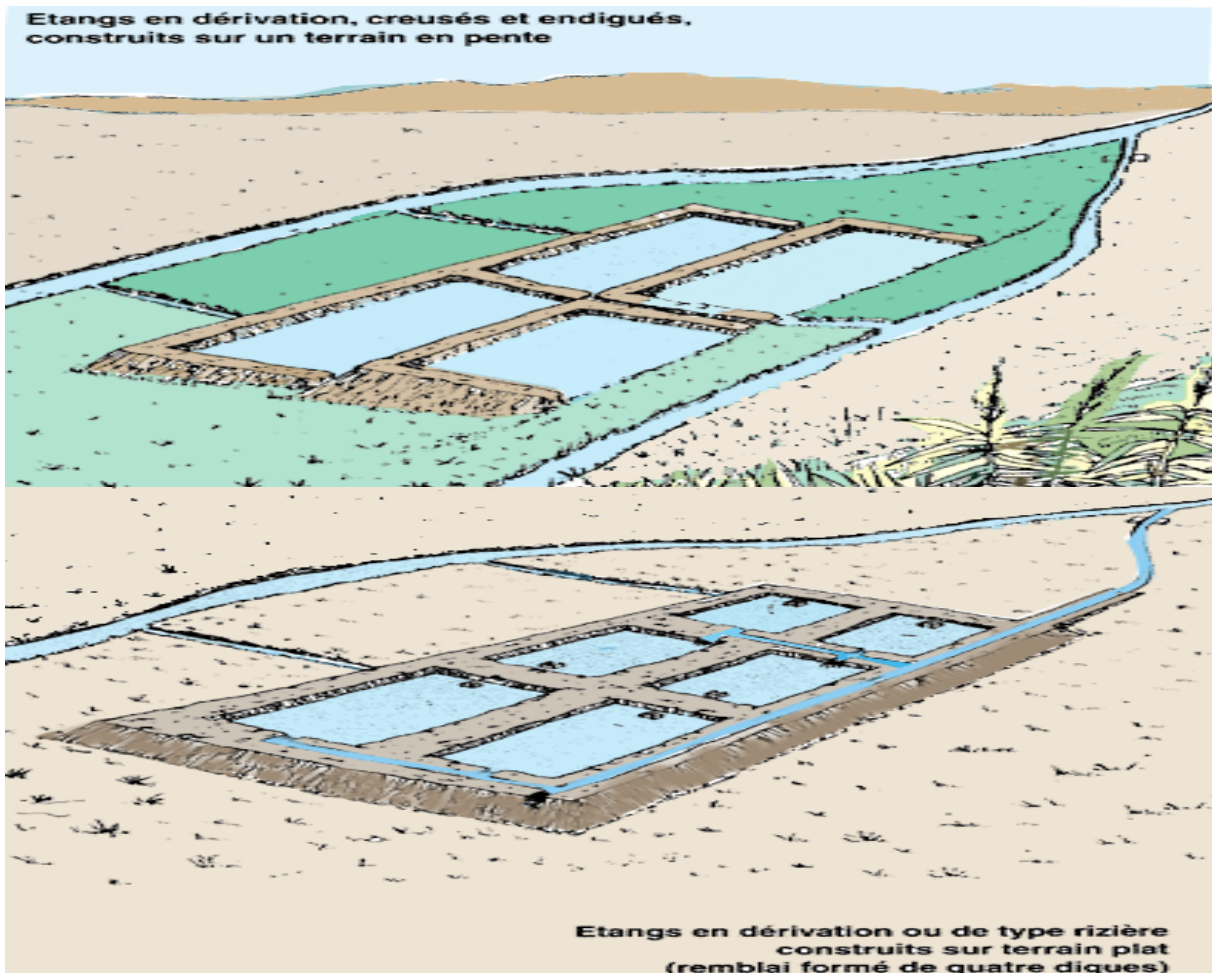


Figure 10 : Etang en dérivation (FAO, 2006).

Tableau 1 : Principaux types d'étangs d'eau douce (FAO, 2006).

PRINCIPAUX TYPES D'ÉTANGS (sous-types, voir section 17)	ALIMENTATION PRINCIPALE EN EAU					VIDANGE			MÉTHODE DE CONSTRUCTION			
	Eaux souterraines		Eaux de surface	Plan d'eau		Eau pompée	Non vidangeable	Vidangeable	Pompage	Etang creusé	Etang endigué	Etang creusé et endigué
	Infiltrations	Sources	Pluies et ruissellement	Directement	Indirectement	Origines diverses						
ÉTANG EN DÉBLAI - Alimentation en eau unique - Toute combinaison d'alimentation	●	●	●		●		●		○	●	○	○ Terrain en pente
ÉTANG DE BARRAGE - Sans canal de dérivation - Avec canal de dérivation - En chapelet		○	●	●	●		○	●	○		● Barrage	
ÉTANG EN DÉRIVATION - En chapelet - En parallèle			○		●	●		●	○		● Terrain plat	● Terrain en pente

● Très courants.
○ Moins courants.

2-4- Avantages et inconvénients de ces types d'étangs :

Les avantages ainsi que les inconvénients des trois principaux types d'étangs définis ci-dessus sont résumés au tableau 2. Il importe de se souvenir des points ci-après.

1. Un meilleur contrôle de l'alimentation en eau a pour effet de faciliter la gestion de l'étang, notamment pour la fertilisation de l'eau et l'alimentation du poisson.
2. Un meilleur drainage a également pour effet de faciliter la gestion de l'étang, par exemple au moment de la récolte totale des poissons élevés et lors de la préparation et de l'assèchement du fond de l'étang.
3. Une forme régulière et des dimensions correctes permettent de mieux utiliser un étang à des fins particulières et simplifient sa gestion.
4. Le choix d'un type donné d'étang dépend beaucoup du type d'alimentation en eau disponible et de la topographie du site choisi.

Donc, lorsque vous pouvez choisir entre plusieurs types d'étangs, vous devez préférer:

- ❖ en premier lieu, les *étangs en dérivation* alimentés en eau par gravité;
- ❖ en dernier lieu, les *étangs de barrage* là où existent des crues qui nécessitent de grands canaux de dérivation.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des trois principaux types d'étangs.

Type	Avantage	Inconvénient
Étang en déblai	<ul style="list-style-type: none"> - Dignes inutiles, sauf pour la protection contre les crues. - Pas de plan d'eau nécessaire à l'alimentation en eau. - Construction possible par une main-d'œuvre peu qualifiée 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'eau risque d'avoir des variations saisonnières considérables. - Exige un travail d'excavation plus important. - Non vidangeable; pas de contrôle de l'alimentation en eau, à moins d'installer un système de pompage, qui risque d'être coûteux. - Faible productivité naturelle des eaux souterraines. - Gestion de l'étang difficile
Étang de barrage	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicité de conception dans le cas de petits cours d'eau. - Coûts de construction relativement faibles, sauf en présence de problèmes de protection contre les inondations. - La productivité naturelle peut être élevée suivant la qualité de l'eau d'alimentation. 	<ul style="list-style-type: none"> - La digue doit être solidement ancrée. Il faut prévoir un déversoir et son canal d'évacuation. - Pas de contrôle à l'arrivée d'eau (quantité, qualité, poissons sauvages) - Impossible à vidanger entièrement, sauf en cas d'assèchement complet de la source d'alimentation en eau. - Gestion de l'étang difficile (fertilisation, alimentation) à cause de l'irrégularité de l'approvisionnement en eau. - Forme et dimensions irrégulières
Étang en dérivation	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de régulation de l'approvisionnement en eau. - Possibilité d'une bonne gestion de l'étang. - Coûts de construction plus élevés sur terrain plat. - Vidange totale possible. - Réalisation possible d'étangs de formes et de dimensions régulières 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts de construction plus élevés par comparaison aux étangs de barrage. - Productivité naturelle plus faible, surtout lorsque l'étang est construit sur un sol non fertile. - Les travaux de construction exigent au préalable des levés topographiques soigneux et un piquetage détaillé.

3- Caractéristiques physiques des étangs piscicoles :

Les étangs piscicoles sont caractérisés par leur taille, leur forme et leur profondeur d'eau.

➤ Taille des étangs :

La taille d'un étang est déterminée par sa superficie en eau lorsque l'étang est plein.

La taille individuelle d'étangs en déblai et d'étangs en dérivation peut être décidée par le pisciculteur, compte tenu des facteurs suivants:

a) *Utilisation*: un étang frayère est généralement plus petit qu'un étang d'alevinage, lui-même plus petit qu'un étang de grossissement.

b) *Quantité de poisson à produire*: un étang de pisciculture commerciale à petite échelle (400-1000m²) est plus petit qu'un étang de pisciculture commerciale à grande échelle (1000-5000m²).

c) *Niveau de gestion*: un étang de pisciculture intensive est plus petit qu'un étang de pisciculture semi-intensive, lui-même plus petit qu'un étang de pisciculture extensive.

d) *Disponibilité des ressources*: il est inutile de faire de grands étangs si les ressources disponibles, par exemple en eau, en poissons reproducteurs, en engrais et/ou en aliments, sont insuffisantes.

e) *Importance des récoltes et de la demande du marché local*: de grands étangs, même si on ne les récolte qu'en partie, risquent de fournir trop de poissons par rapport à la demande du marché local.

Le tableau 3 résume la disponibilité des ressources en fonction de la taille de l'étang.

Tableau 3 : Disponibilité des ressources et taille de l'étang

	Petit étang	Grand étang
Eau	- Quantité limitée - Remplissage/vidange rapides	- Quantité importante - Remplissage/ vidange lente
Alevins	- Nombre réduit	- Nombre important
Engrais/ aliments	- Faible quantité	- Grande quantité
Commercialisation du poisson	- Récolte faible - Marchés locaux	- Récolte importante - Marchés urbains

➤ **Forme des étangs :**

Un étang piscicole peut avoir une forme quelconque, comme le montrent les étangs de barrage dont la forme dépend exclusivement de la topographie des vallées dans lesquelles ils sont construits. Toutefois, les étangs en déblai et les étangs en dérivation sont généralement de forme régulière, carrée ou rectangulaire.

- Les étangs carrés, moins onéreux à construire, sont particulièrement indiqués pour les petits étangs (moins de 400 m²) dont vous prévoyez d'effectuer la récolte par vidange.
- Les étangs rectangulaires sont préférés lorsque :
 - Vous construisez des étangs de plus de 400 m² sur un terrain dont la pente est supérieure à 1,5%.
 - Vous construisez des étangs de plus de 100 m² et que vous prévoyez de récolter votre poisson par sennage.

En général, les étangs rectangulaires ont une longueur (L) environ deux fois supérieure à leur largeur (l).

➤ **Profondeur des étangs :**

Les étangs piscicoles sont généralement peu profonds. Leur profondeur maximale n'excède pas ordinairement 1,50 m. La partie la moins profonde devrait avoir au moins 0,50 m afin de limiter la croissance des plantes aquatiques (fig. 11).

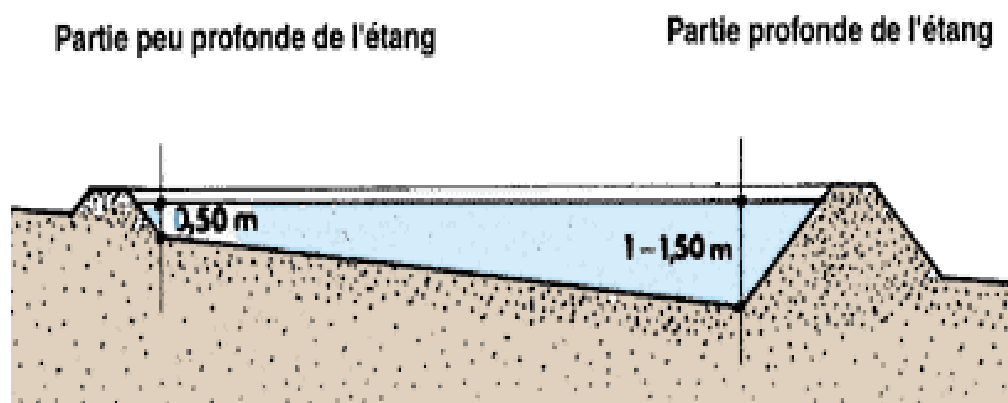


Figure 11 : Profondeur maximale et minimale d'un étang piscicole (FAO, 2006).

Des étangs plus profonds sont d'une construction bien plus coûteuse car le volume des digues augmente rapidement avec la profondeur de l'étang qui également entraîne un grand volume d'eau difficile à renouveler.

Toutefois, il est parfois nécessaire d'utiliser des étangs plus profonds:

- dans les régions sèches où vous devez stocker de l'eau pendant toute la saison sèche pour être certain d'en avoir assez pour les poissons;
- dans les régions froides où il peut être nécessaire de permettre aux poissons de se réfugier dans des eaux plus profondes et plus chaudes par temps froid.

Tableau 4 : Caractéristiques d'étangs peu profonds et d'étangs plus profonds

Etangs peu profonds	Etangs plus profonds
<ul style="list-style-type: none"> - Echauffement rapide de l'eau - Importantes fluctuations de température - Risques accrus de prédation par les oiseaux - Croissance accrue de plantes aquatiques - Plus petites digues nécessaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Eau profonde plus chaude en saison froide - Stabilité accrue de la température de l'eau - Moins d'aliments naturels disponibles - Sennage en eau profonde difficile - Dignes élevées et solides nécessaires

4- Caractéristiques des digues d'étang.

Toute digue doit avoir les propriétés suivantes:

- Elle doit pouvoir résister à la pression d'eau créée par la hauteur de la masse d'eau retenue dans l'étang.
- Elle doit être imperméable, et les infiltrations à travers la digue doivent être réduites au minimum, pour cela, il faut utiliser de terre de bonne qualité contenant suffisamment d'argile.
- Elle doit être suffisamment haute pour empêcher l'eau de s'écouler par-dessus. Généralement la hauteur de la digue doit dépasser le niveau d'eau de 30 cm pour les petits étangs et de 50 cm pour les plus grands.

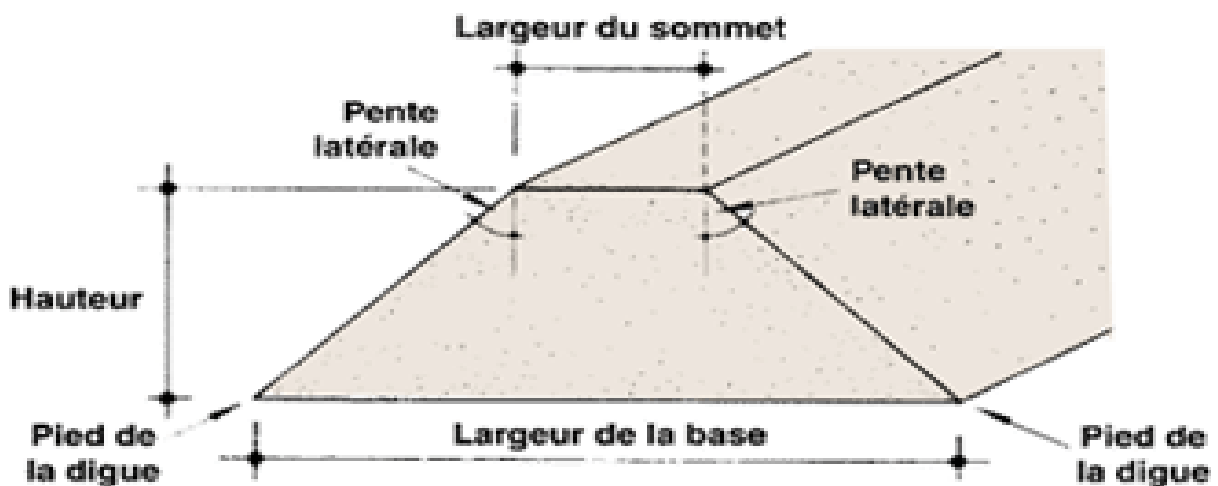
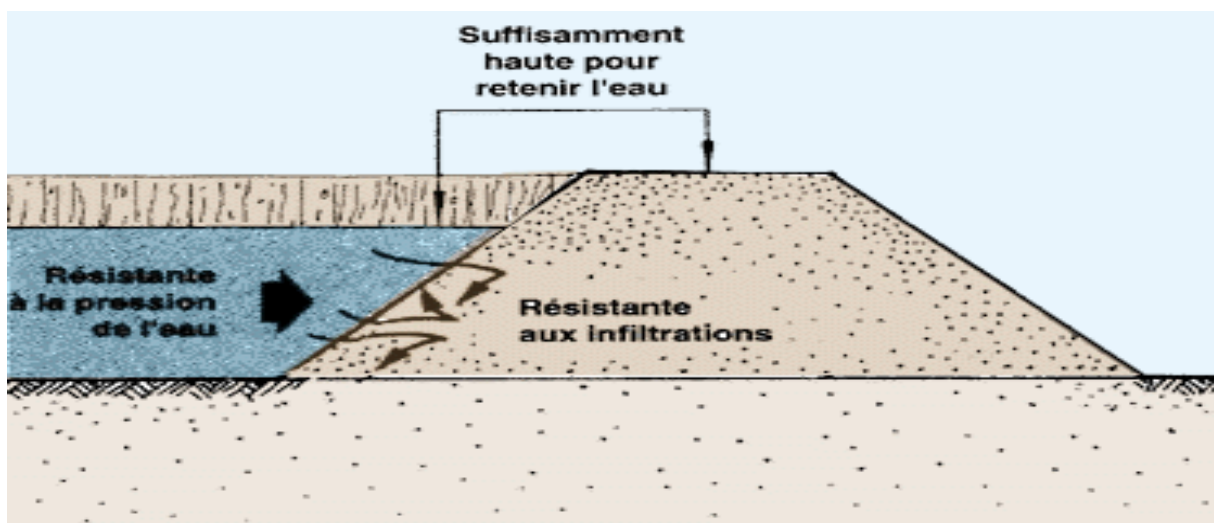


Figure 12 : Caractéristiques d'une digue d'un étang (FAO, 2006).

En principe, la largeur du sommet de la digue doit être égale à sa hauteur avec un minimum de 1m. On peut donner des dimensions supérieures pour permettre la circulation des véhicules.

5- Les différents ouvrages d'un étang :

5-1- Ouvrage de prise d'eau des étangs :

Dans quel cas faut-il une prise d'eau ?

Les ouvrages de prise d'eau servant à régler en permanence le débit d'eau qui pénètre dans l'étang.

→ Une prise d'eau est inutile en cas d'alimentation exclusive par les eaux de pluie ou de ruissellement, la nappe phréatique ou une source située à l'intérieur de l'étang.

→ Une prise d'eau peut être construite pour un étang approvisionné par un canal d'alimentation par exemple par l'eau dérivée d'une rivière, une source extérieure à l'étang, un puits ou une pompe.

Il existe trois principaux types d'ouvrage de prise d'eau : par tuyau, par gouttière ou par canal (fig. 13).

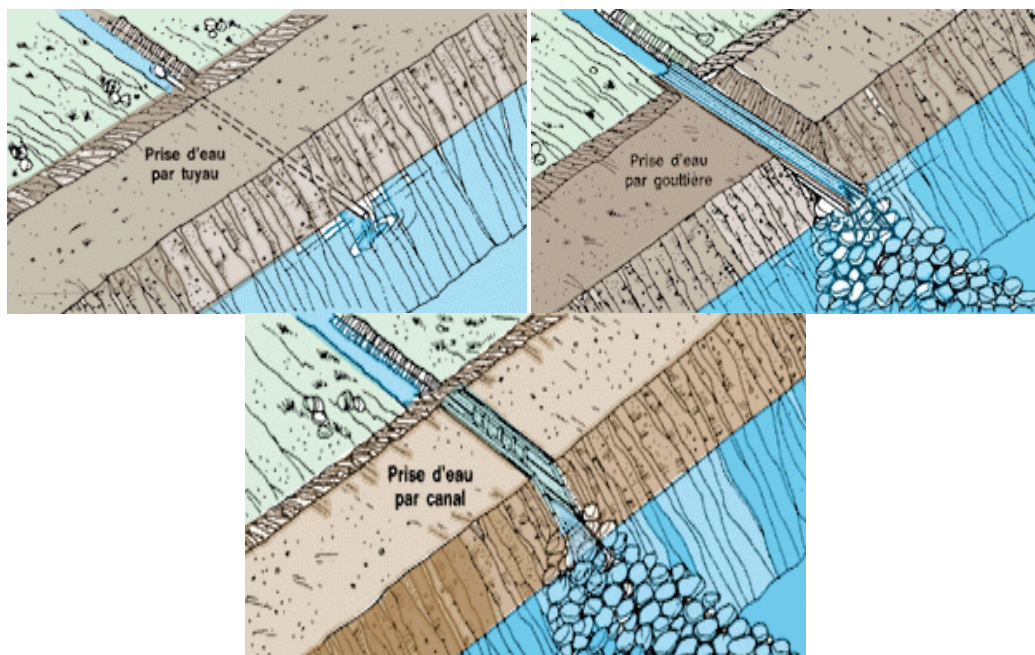


Figure 13 : Différents types de prise d'eau (FAO,2006).

La conception et la réalisation d'un ouvrage de prise d'eau doivent bien prendre en considération les recommandations suivantes:

- Placez la prise d'eau du côté le moins profond de l'étang.
- Le fond de la prise d'eau doit être à un niveau identique à celui du fond du canal d'alimentation et de préférence au moins 10 cm au-dessus du niveau maximal de l'eau dans l'étang.
- La prise d'eau doit être horizontale, sans pente.
- L'ouvrage doit être placé de façon que l'eau se mélange autant que possible à son arrivée dans l'étang. (fig. 14).

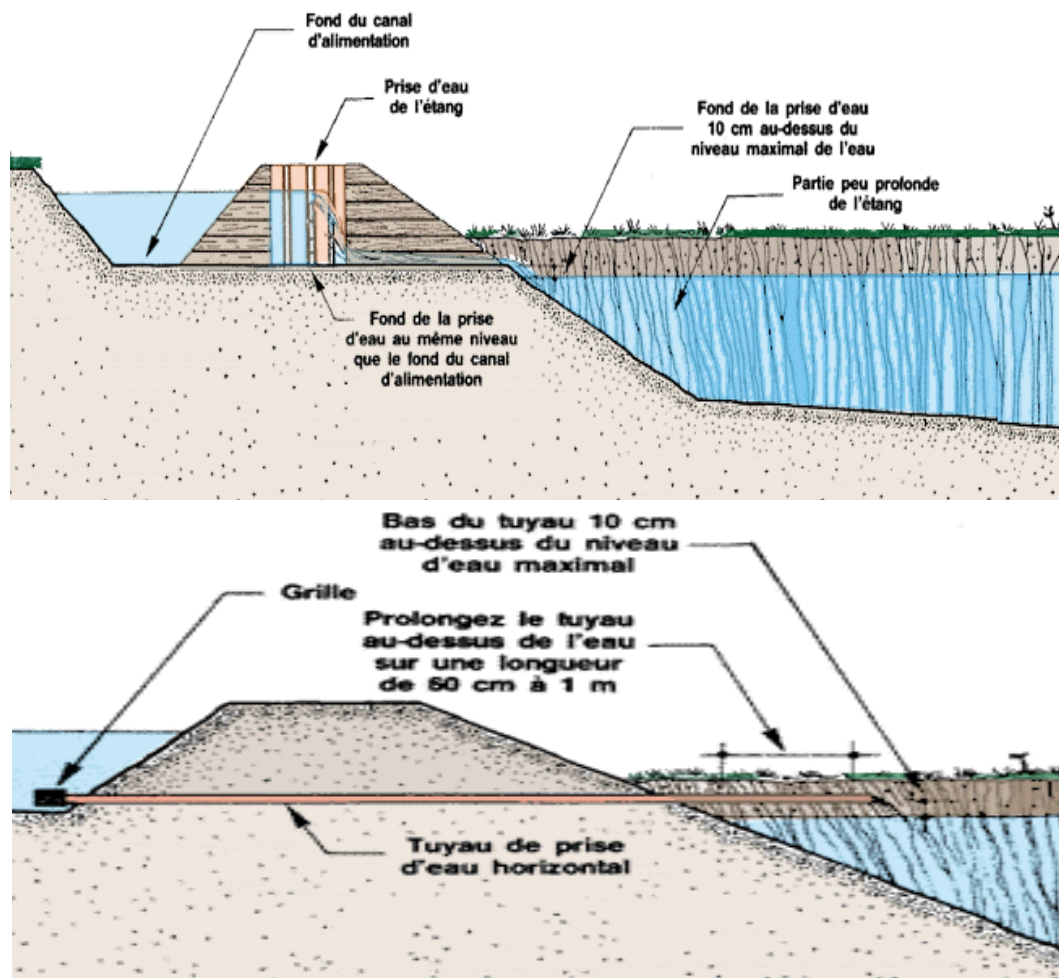


Figure 14 : Conception des ouvrages de prise d'eau (FAO, 2006)

Remarque : dans une prise d'eau, on peut avoir :

- Un dispositif de régulation du niveau d'entrée et de débit à l'intérieur de l'ouvrage proprement dit servant à régler l'alimentation en eau des étangs.
- Un ouvrage de protection de l'entrée par exemple gros barreaux au pilotis, une série de grille pour empêcher toute détérioration de la prise d'eau due aux débris (fig. 15).

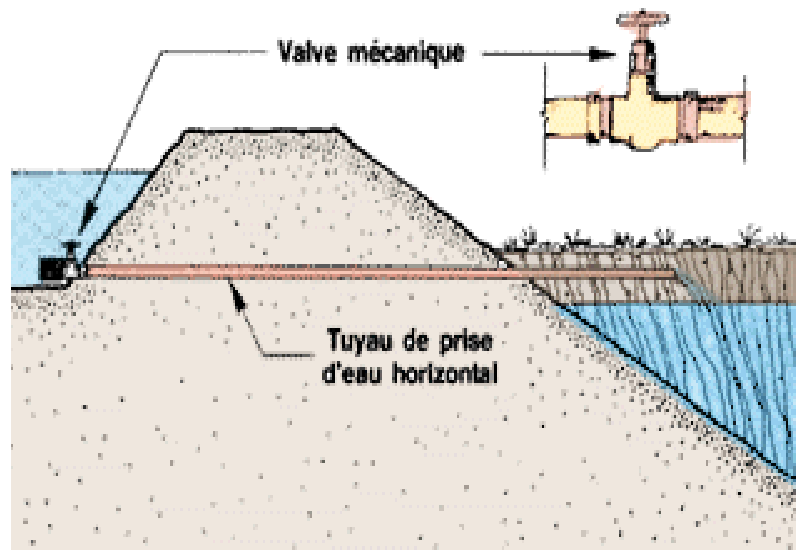


Figure 15 : dispositif de régulation d'une prise d'eau (FAO, 2006)

Tableau 5 : Différents tuyaux utilisés dans la prise d'eau.

Matériau des tuyaux	Diamètre intérieur du tuyau		
	Moins de 10 cm	10-15 cm	Plus 15 cm
Bambou	oui	-	-
Fer galvanisé	oui	-	-
Plastique	oui	oui	oui
Fibrociment	-	-	oui
Béton	-	-	oui

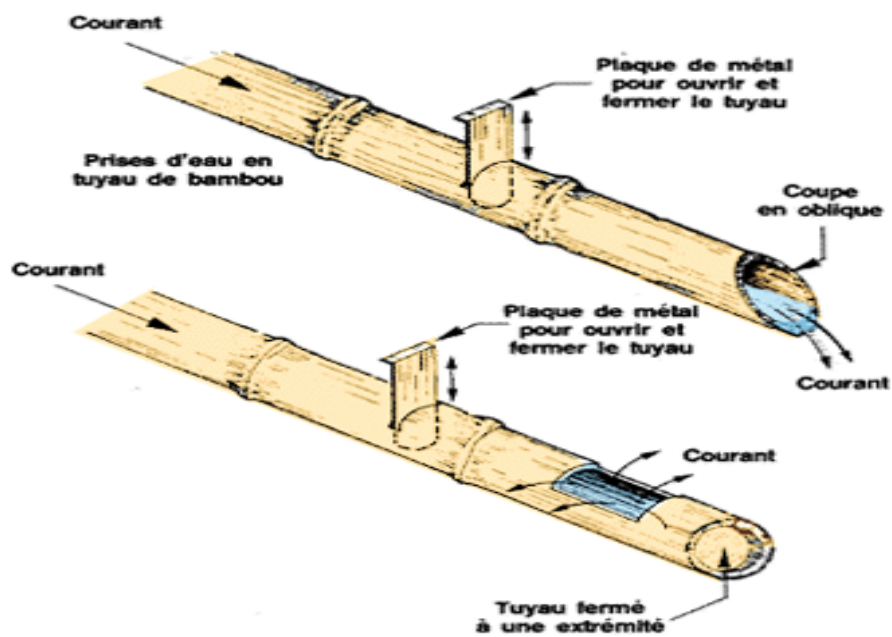


Figure 16 : Prise d'eau en tuyau de bambou (FAO, 2006)

5-2- Ouvrage d'entrée et de sortie (alimentation et vidange) :

- ❖ L'alimentation de l'étang se fait généralement à partir d'un canal d'amené d'eau (canal d'alimentation qui relie la prise d'eau aux diverses installations d'élevage) par une simple buse muni ou non d'un système de régulation (vanne, coude orientable...) (fig. 17).

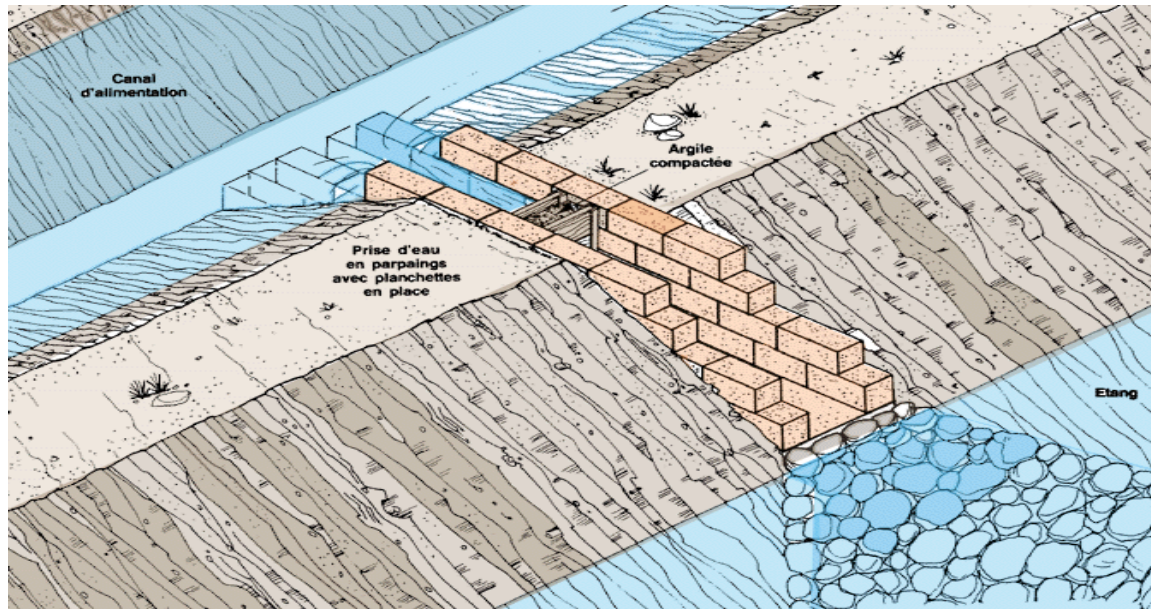


Figure 17 : Canal d'alimentation (FAO, 2006).

Les règles suivantes doivent demeurer présentes à l'esprit lors du tracé et de la conception des canaux d'alimentation:

- Le canal d'alimentation principal doit acheminer l'eau à la ferme par gravité.
- S'il faut utiliser le pompage, il est généralement plus simple de pomper l'eau dans un canal d'alimentation fonctionnant ensuite par gravité que de pomper l'eau de chaque étang.
- Le niveau du fond d'un canal d'alimentation doit de préférence se trouver à au moins 10 cm au-dessus du niveau normal de l'eau de l'étang qu'il alimente. Si toutefois le terrain est en pente très douce, la surface supérieure du canal peut se trouver à seulement 5 cm au-dessus du niveau normal de l'eau de l'étang.
- La longueur du canal d'alimentation principal doit être aussi courte que possible.
- Chaque étang doit être rempli dans un temps minimal en fonction de sa taille, allant de quelques heures pour les petits étangs à plusieurs jours pour les grands étangs.

❖ **Pour l'ouvrage de vidange :**

Deux raisons principales justifient la construction d'ouvrages de vidange:

- 1) maintenir la surface de l'eau de l'étang à son niveau optimal
- 2) permettre la vidange complète de l'étang et la récolte du poisson au moment voulu.

Outre ces deux fonctions essentielles, un bon dispositif de vidange doit, dans la mesure du possible, assurer également que:

- le temps nécessaire à la vidange de l'étang n'est pas excessif;
- le débit des eaux de vidange est aussi régulier que possible, pour éviter de perturber le poisson de manière excessive;
- il n'y a aucune perte de poisson, en particulier en cours de vidange;
- l'eau peut être évacuée aussi bien de la partie supérieure que de la partie intermédiaire ou inférieure de l'étang;
- tout excès d'eau raisonnable peut être évacué;
- le nettoyage et l'entretien sont faciles à effectuer;
- les coûts de construction et d'entretien sont relativement faibles.

Les ouvrages de vidange des étangs peuvent être construits de diverses façons, avec différents matériaux comme bambou, bois, briques, parpaings ou béton. On distingue 4 types d'ouvrages :

- Les simples ouvertures creusées dans la digue.
- Les canalisations simples et les siphons (fig. 18 a et b)
- Les digues percées (fig.19)
- Le moine (fig. 20) qui constitue l'un des plus anciens ouvrages de vidange et des plus couramment utilisés.

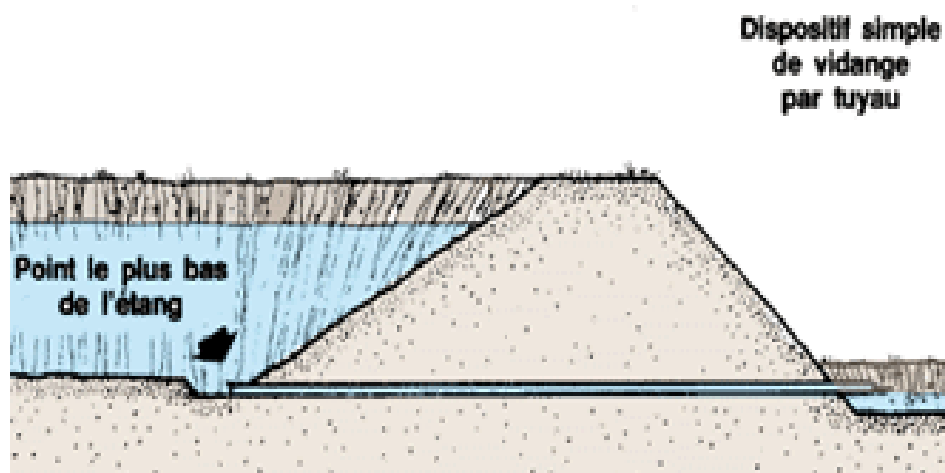


Figure 18 a : Utilisation d'un tuyau comme dispositif de vidange (FAO, 2006).

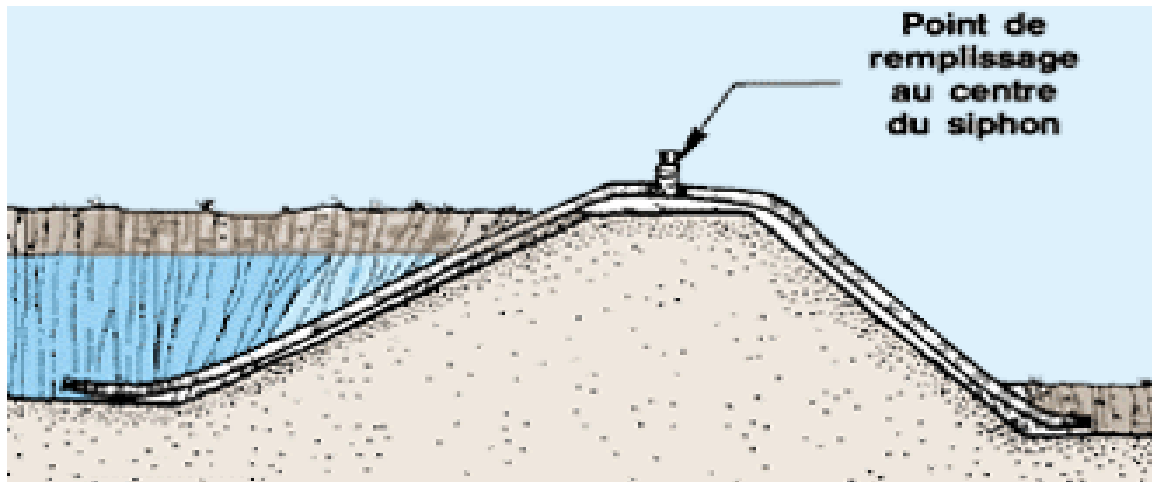


Figure 18 b : Utilisation d'un siphon comme dispositif de vidange (FAO, 2006).

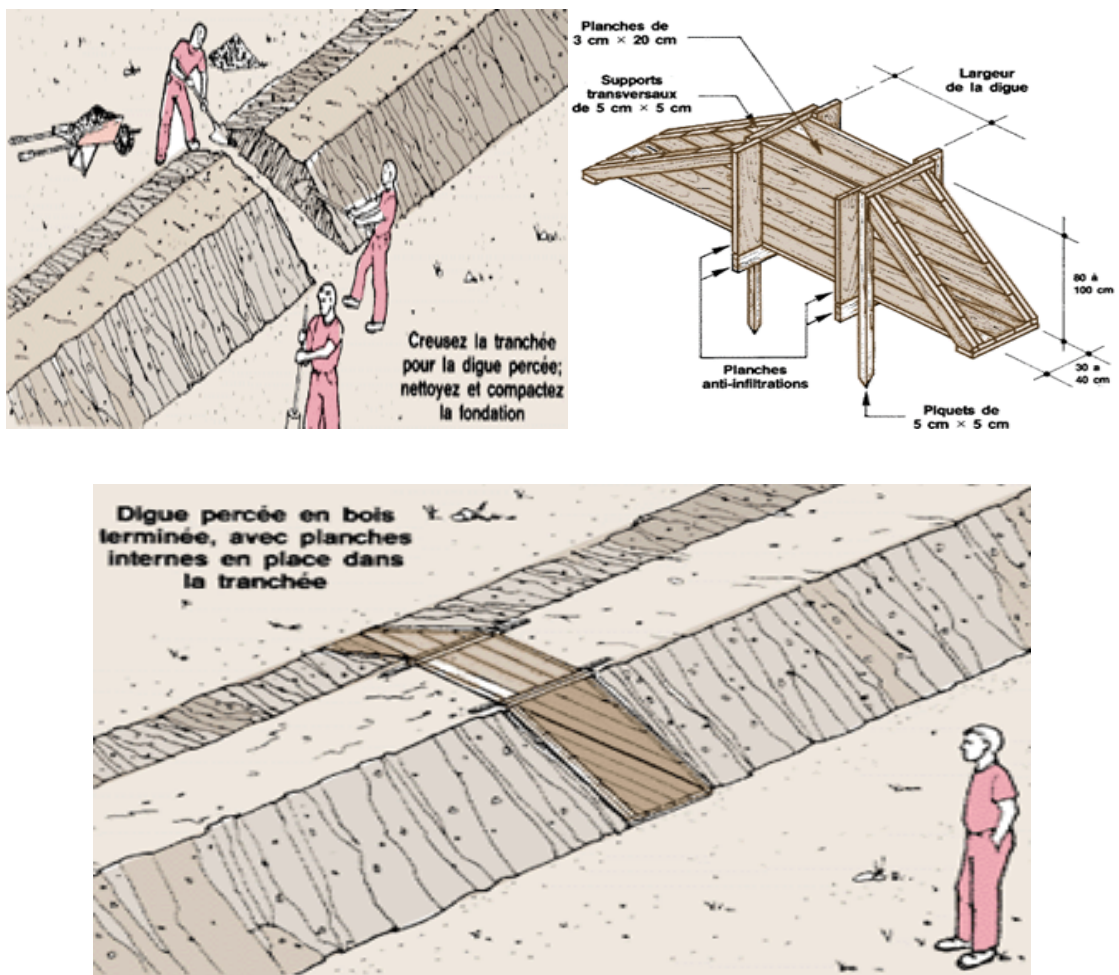


Figure 19 : les digues percées (FAO, 2006).

Le moine (fig.20) comprend une colonne verticale fermée par es planchettes servant à régler le niveau d'eau. L'eau est évacuée par une canalisation entrée sous la digue. Une grille empêche les poissons de quitter l'étang.

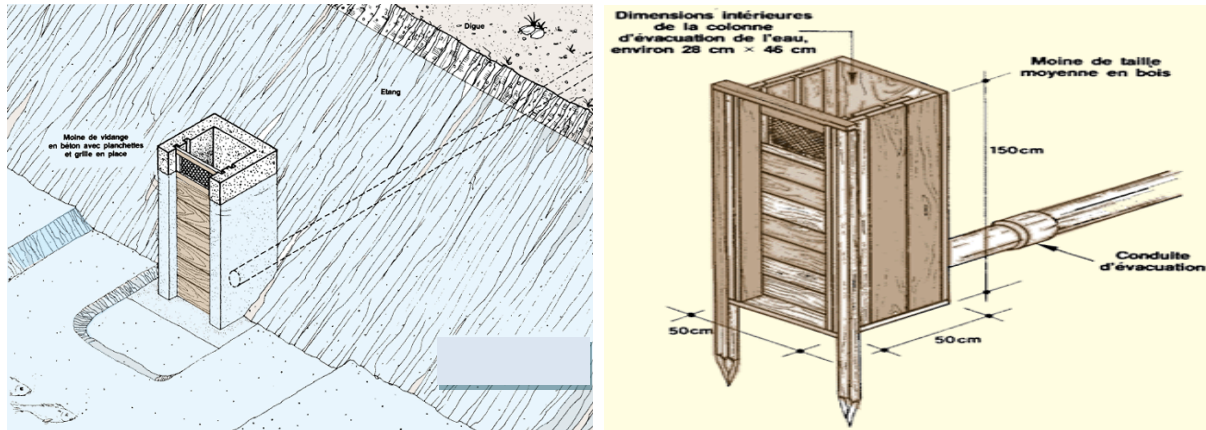


Figure 20 : Moine de vidange en bois à droite et en béton à gauche (FAO, 2006)

L'avantage de l'utilisation de moine c'est :

- Le niveau d'eau est facile à contrôler et à ajuster.
- Il peut faire office de trop plein et simplifier la récolte de poissons.
- Plus facile à protéger.
- Coût de construction est moins élevé.

Il a par contre l'inconvénient de ne pas être très simple à construire en particulier lorsqu'on le réalise en brique ou en béton.

Le moine se compose des éléments suivants : (fig. 21)

- Une colonne verticale à trois côtés appelée moine dont la hauteur est généralement égale à celle de la digue.
- Une canalisation qui traverse la digue et qui est scellée au pied de la colonne en arrière.
- Une semelle de fondation pour la colonne et la canalisation.
- Des rainures dans lesquelles sont installées les planchettes et les grilles qui forment le 4^{ème} côté du moine.

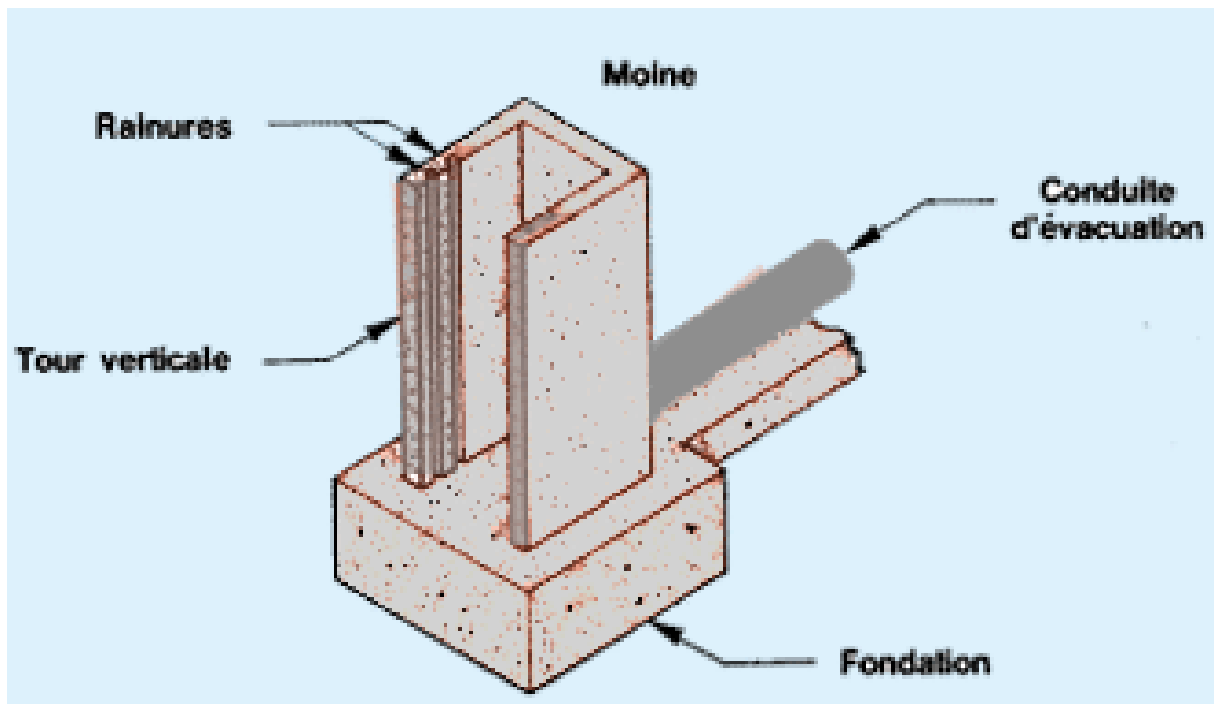


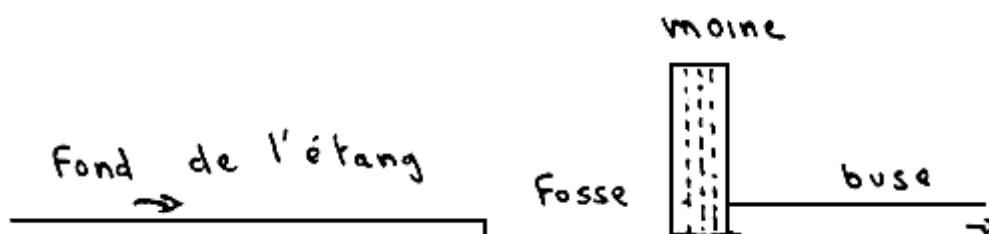
Figure 21 : Eléments constitutifs d'un moine (FAO, 2006).

5-3- Pêcherie :

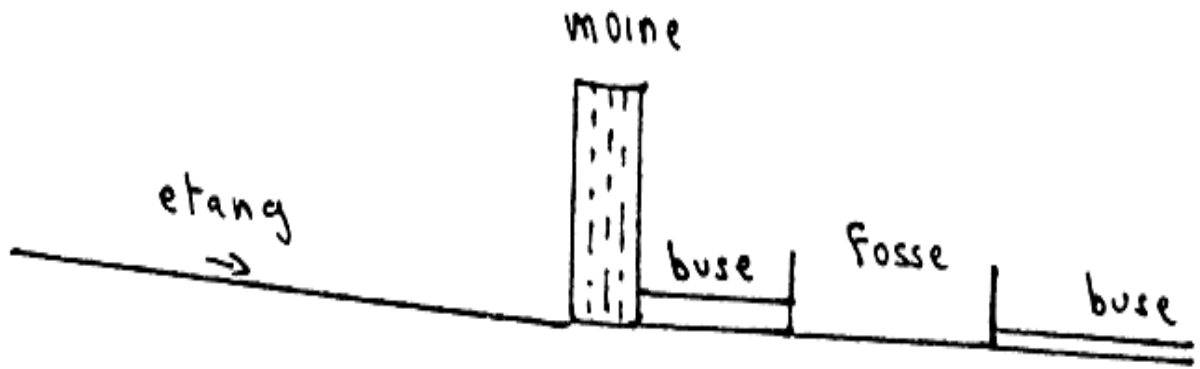
Il peut être intéressant d'aménager des chambres de capture ou pêcherie afin de faciliter la pêche.

Dans la majorité de cas, les pêcheries sont placées en sortie d'étang. Deux cas peuvent se présenter :

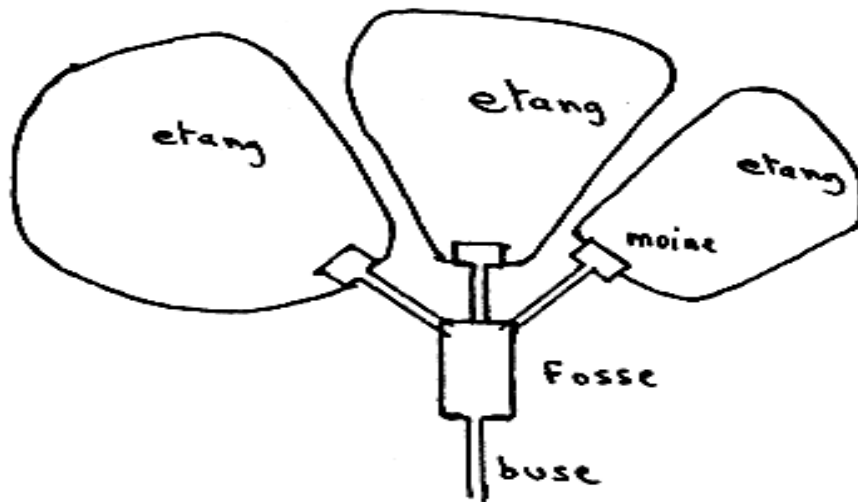
1. Pêcherie située en amont de la digue, c'est-à-dire dans l'étang. Le principal inconvénient de ce type est l'envasement régulier de l'ouvrage qui gêne considérablement la pêche.
2. Pêcherie en aval de la digue, à l'endroit où débouche la buse de vidange. L'avantage de ce type est la possibilité de pouvoir l'utiliser pour plusieurs bassins ce qui allège le coût.



Pêcherie intérieure (FAO, 2006)



Pêcherie extérieure (FAO, 2006)



Pêcherie commune (FAO, 2006)

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

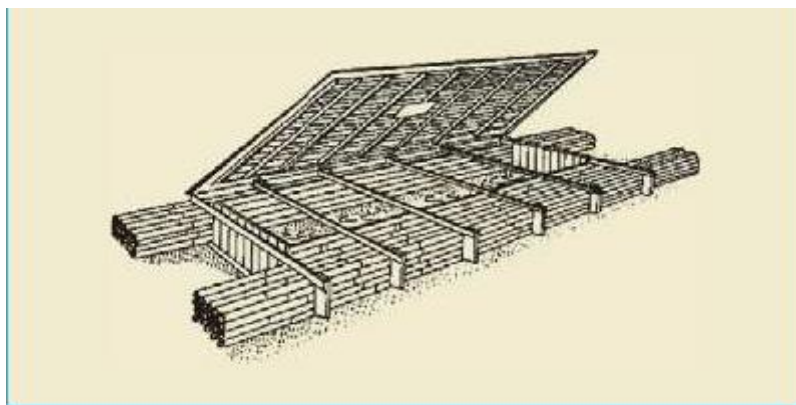
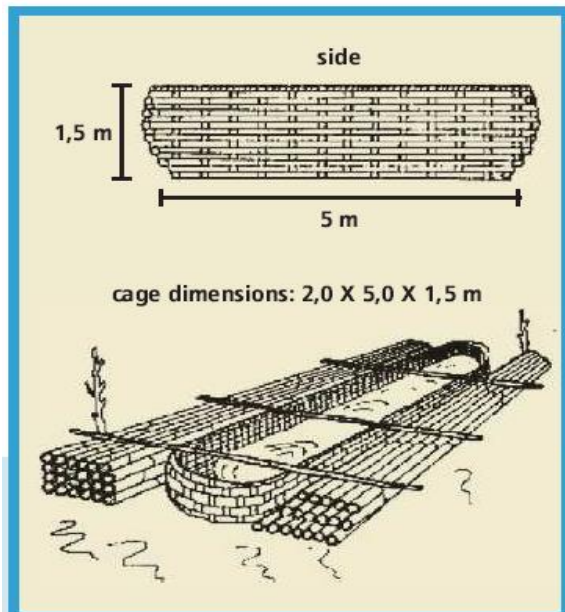


Figure 2 : Cage flottante primitive.



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.

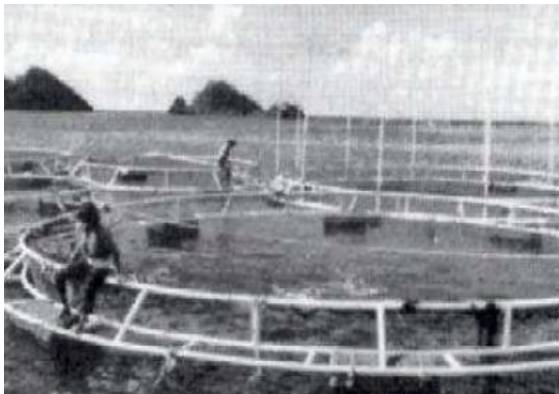
Ces cages circulaires étaient robustes, résistantes aux conditions marines difficiles et pouvaient être utilisées dans des zones exposées, contrairement aux cages traditionnelles en bois ou en bambou. Elles ont été initialement conçues pour l'élevage du saumon, une industrie en plein essor en Norvège 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 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.



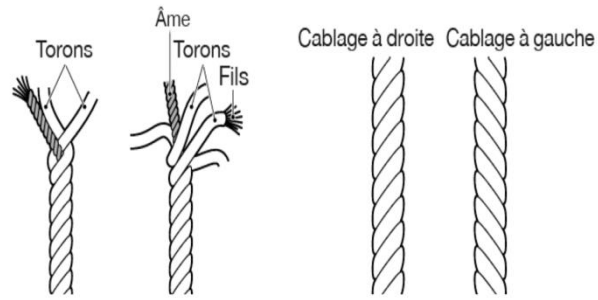
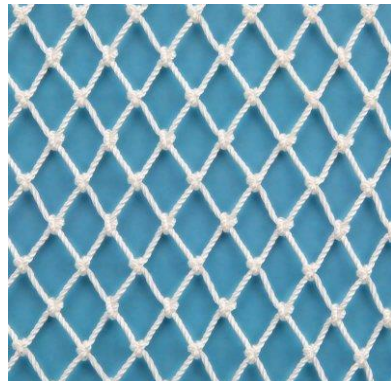
Figure 10. Structure de flottaison exposée au biofouling.

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:

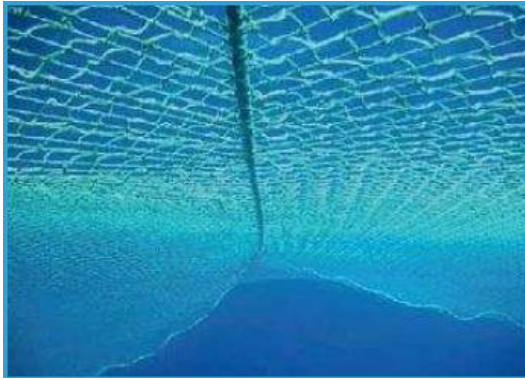
1. Matériau et Structure: Les filets peuvent être tressés ou câblés, en mono-filament ou multi-filament, et avec ou sans nœuds. Les filets sans nœuds, bien que plus légers et moins sujets au biofouling ou à l'abrasion mécanique, s'usent plus rapidement que ceux avec nœuds. Le nylon reste le matériau 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**

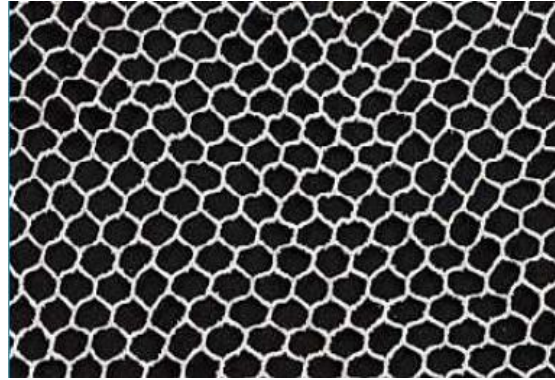
2. Taille, forme et volume: La taille, la forme et le volume des filets varient en fonction de l'espèce élevée et des stratégies d'élevage. La taille des mailles, en particulier, joue un rôle crucial dans le maintien de bonnes conditions d'élevage, car une maille suffisamment large permet un renouvellement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



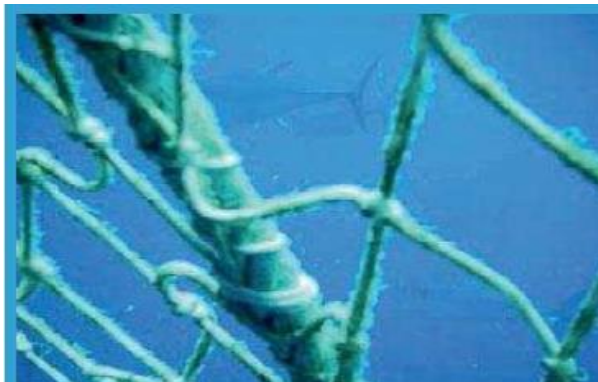
Mailles en position naturelle



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 ancrs, 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.

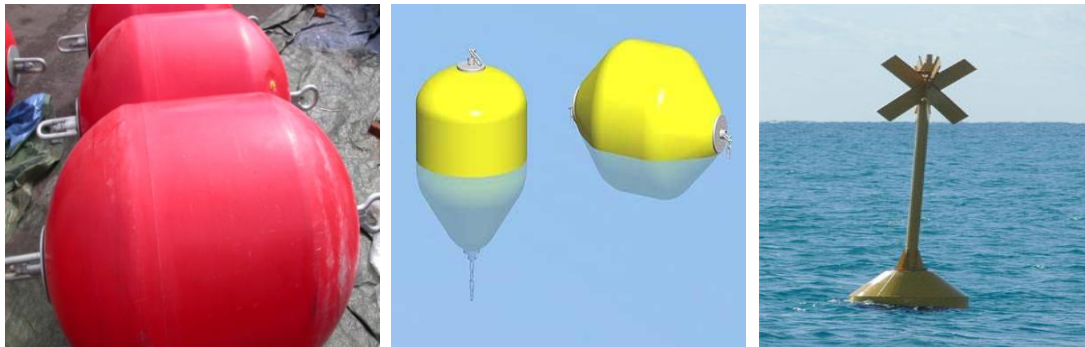
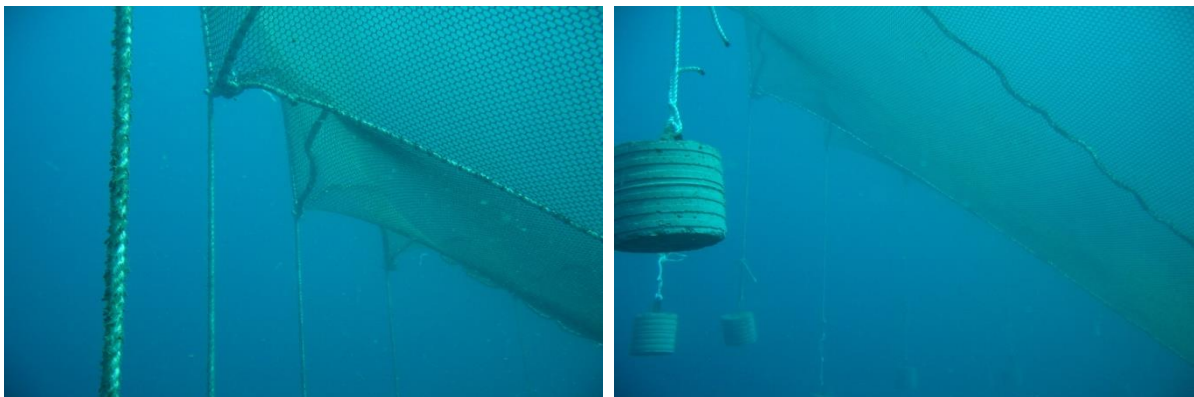
Ces composants doivent non seulement résister aux forces dynamiques mais aussi absorber l'énergie cinétique (c'est l'énergie liée au mouvement, par exemple, une grosse vague transporte beaucoup d'énergie lorsqu'elle frappe les structures flottantes.) des changements brutaux liés aux conditions marines.

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 fixées 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 spécifié 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.

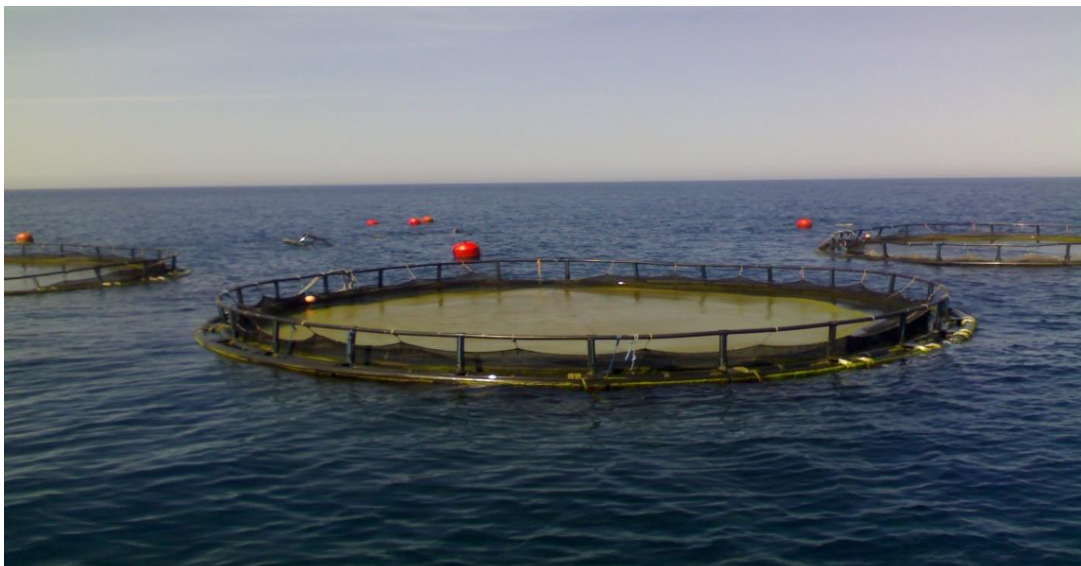


Figure 11. Cage flottante submersible en surface de la mer à Azeffoun

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.

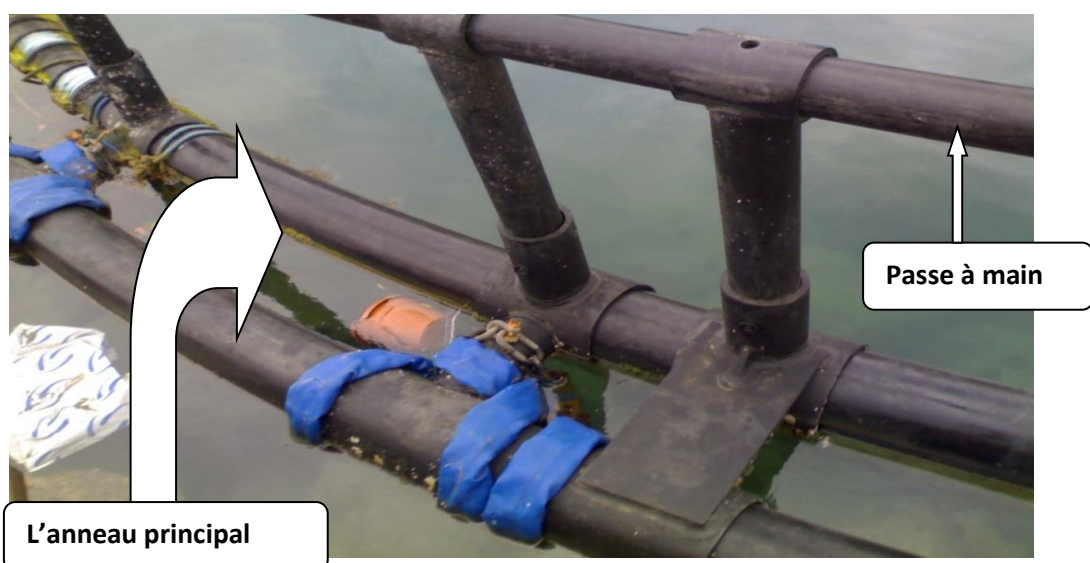


Figure 12. Anneaux principale et secondaire d'une cage submersible.

➤ 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 ancrs, 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.

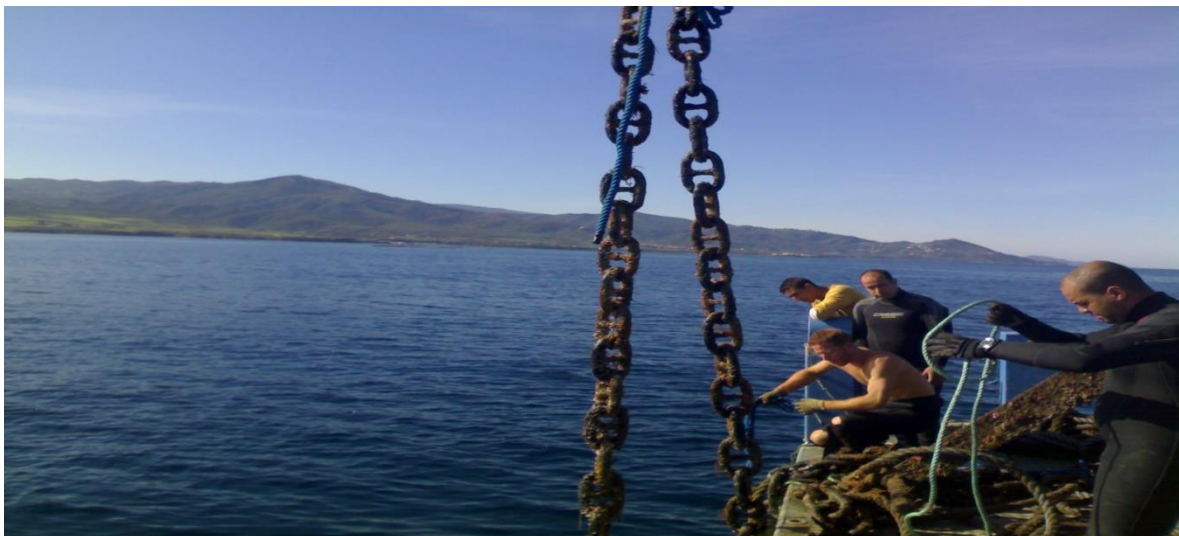
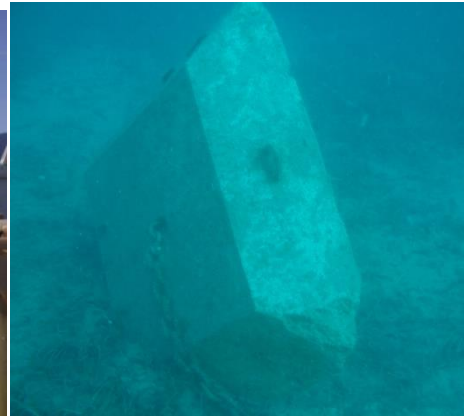
✚ **Les flotteurs de profondeur:** Utilisés pour éviter l’abrasion des cordes au niveau du fond marin, ces flotteurs complètent le système en garantissant la durabilité des lignes d’ancrage.



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.

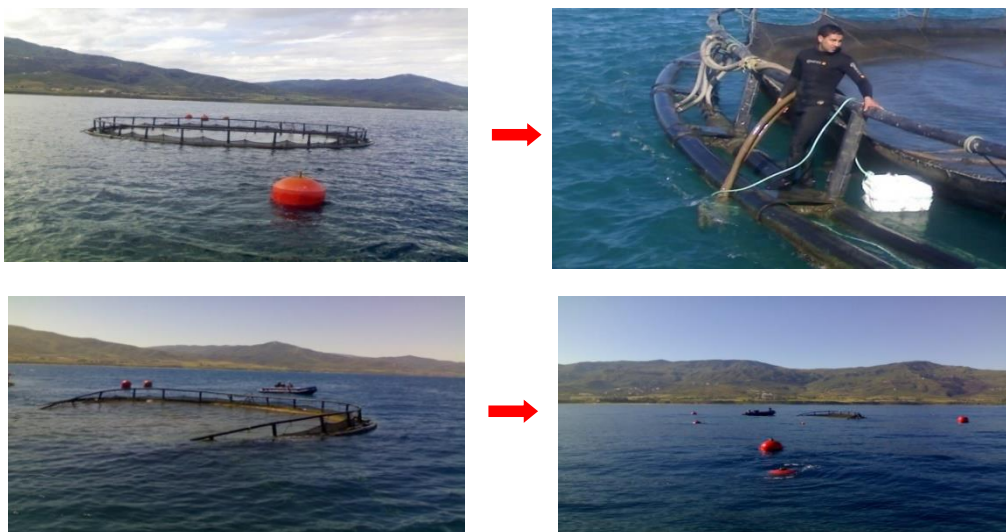


Figure 14. Photos illustrant les différentes étapes de la submersion d'une cage.

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).

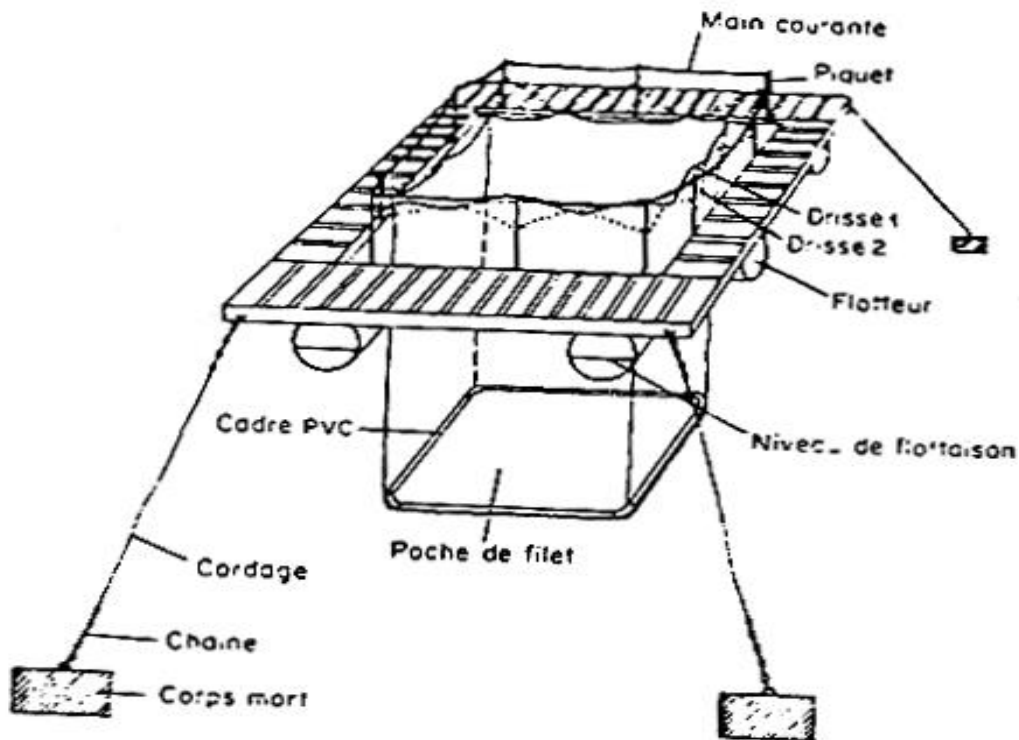


Schéma d'une Cage flottante sur ponton. Caractéristiques technique. Ponton dimensions intérieures, 4 × 4 m largeur. 0.80m. Cage: largeur. 3.80 m; longueur. 3.80m, hauteur, 2.50 M: volume utile d'élevage, 36 m³

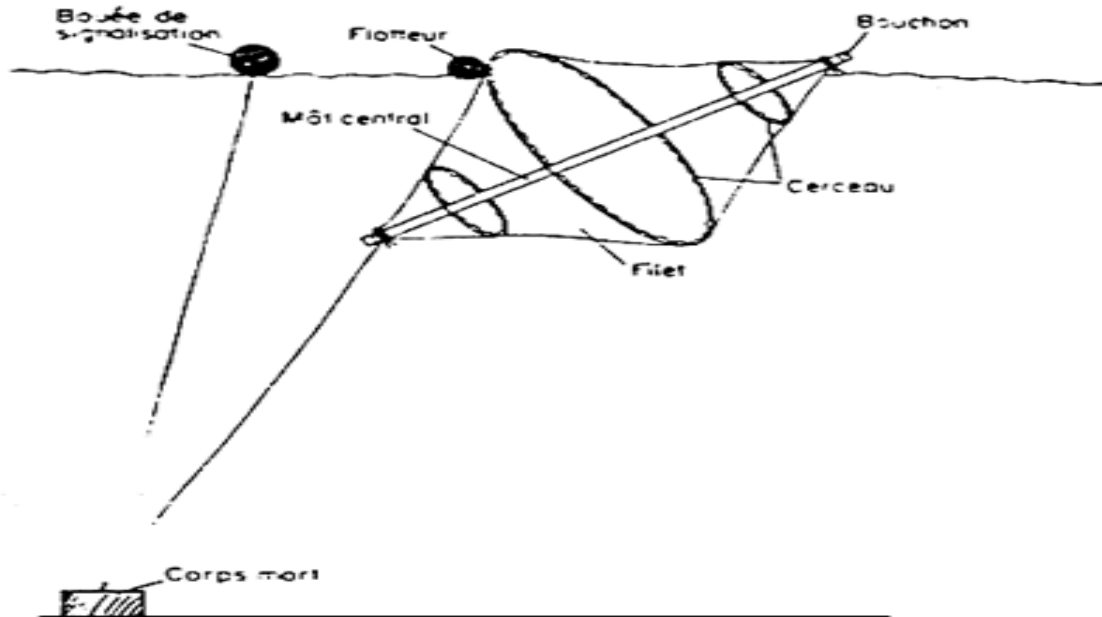
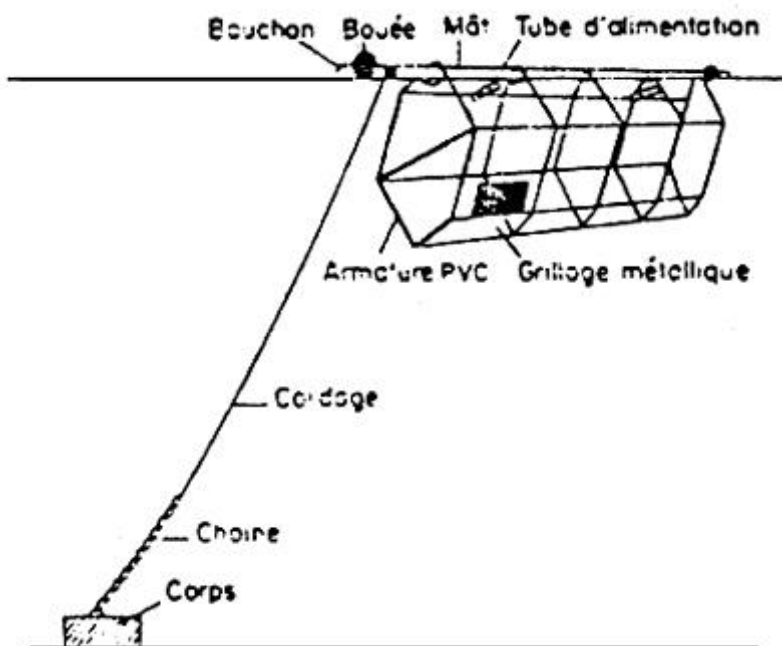


Schéma d'une cage de type biconique en position flottante.



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

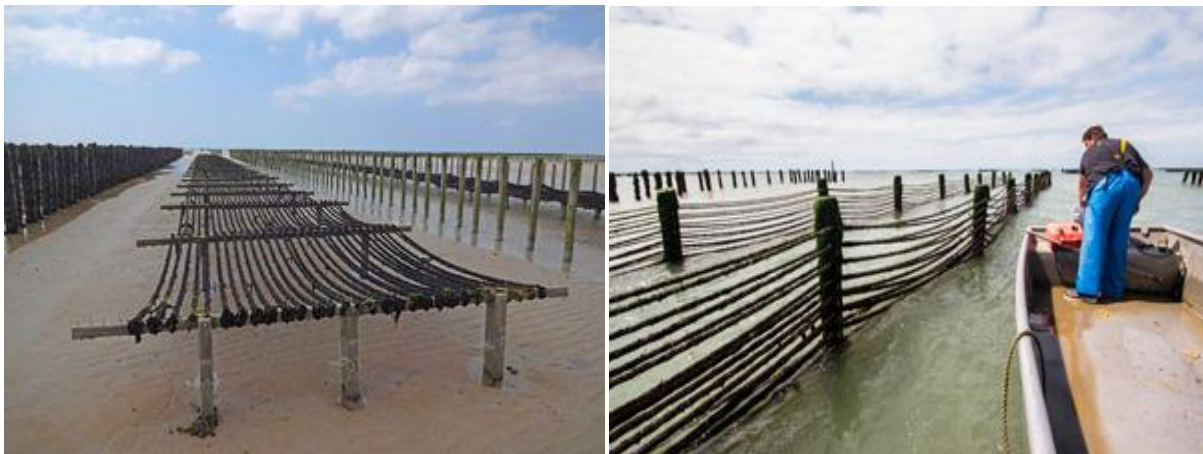
L'opération de boudinage se fait selon le niveau de la mer (on garnie la partie supérieure ou inférieure du pieu). La partie basale (à 50 cm du fond) est à proscrire, elle est réservée aux dispositifs d'obstacle contre les prédateurs (ex : on utilise un plastique effrangé).

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.

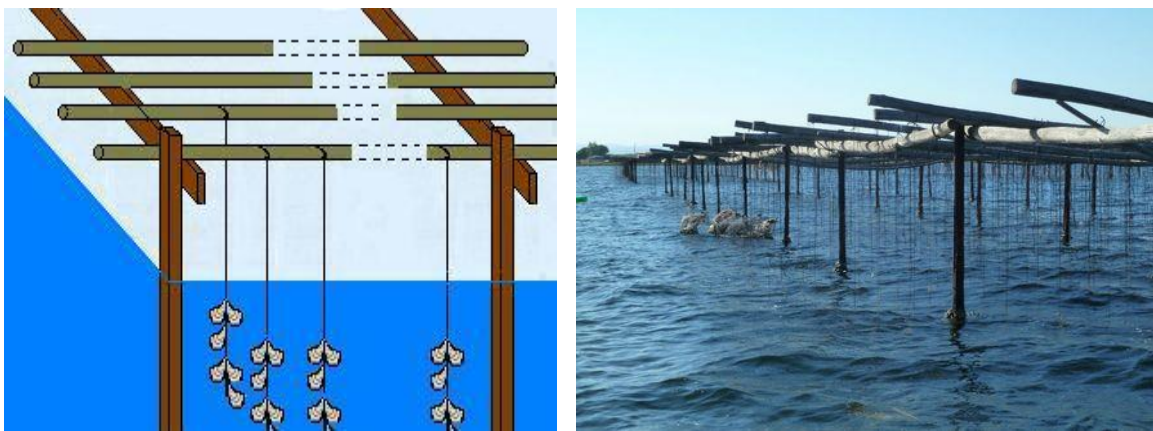


Image d'une table d'élevage (www.aquaporail.com)

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.

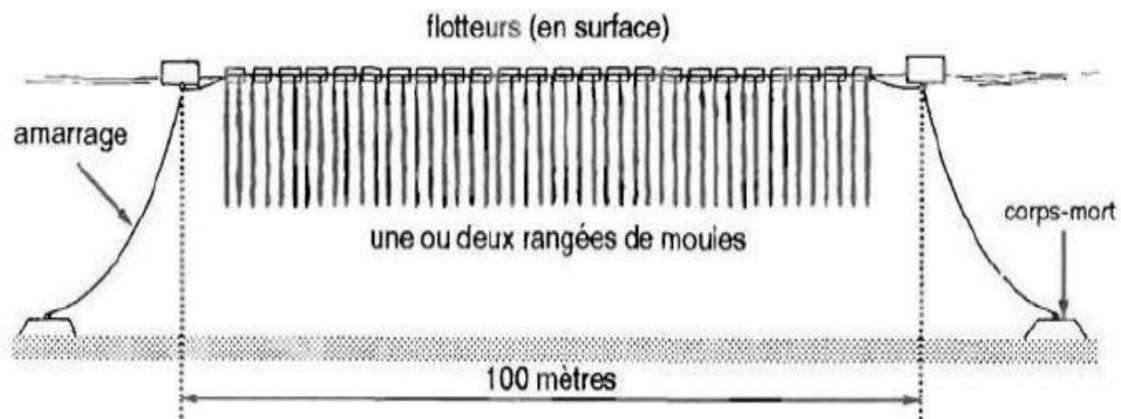
II-4- Elevage en pleine eau :

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.

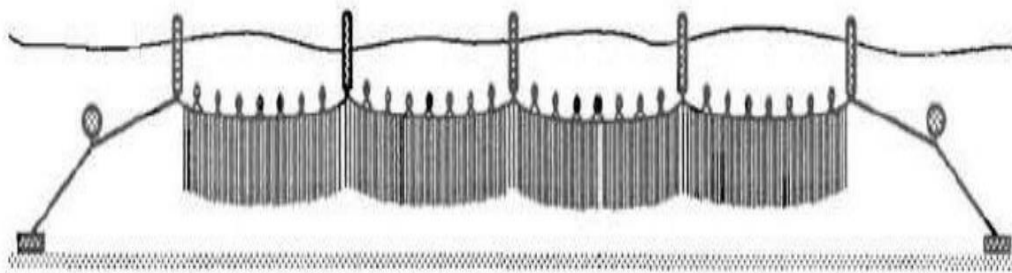
En méditerranée, la législation impose l'immersion des sujets d'élevage à une profondeur supérieure à 5m en raison des contraintes qu'ils subissent (gêne la navigation côtière, destruction des filières flottantes par les mouvements d'eau).

- **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).

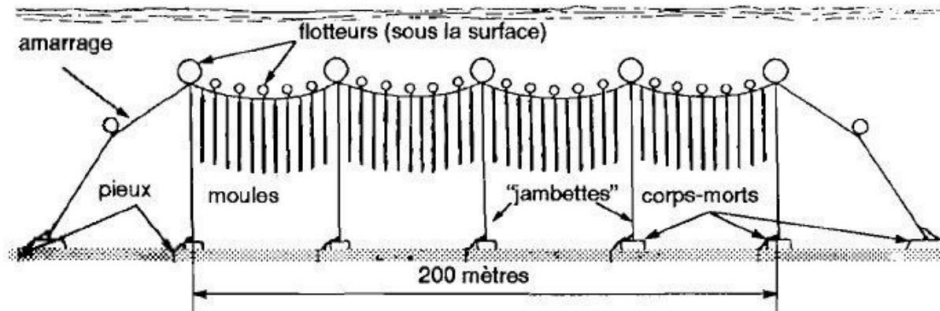
- **Les filières de sub-surface** : Réalisée en 1987 en Algérie, Elle est positionnée entre les deux eaux à 5m de profondeur afin de ne pas gêner la circulation maritime (navigation) et éviter la houle de surface et les courants. Seules les extrémités sont signalées en surface.



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.

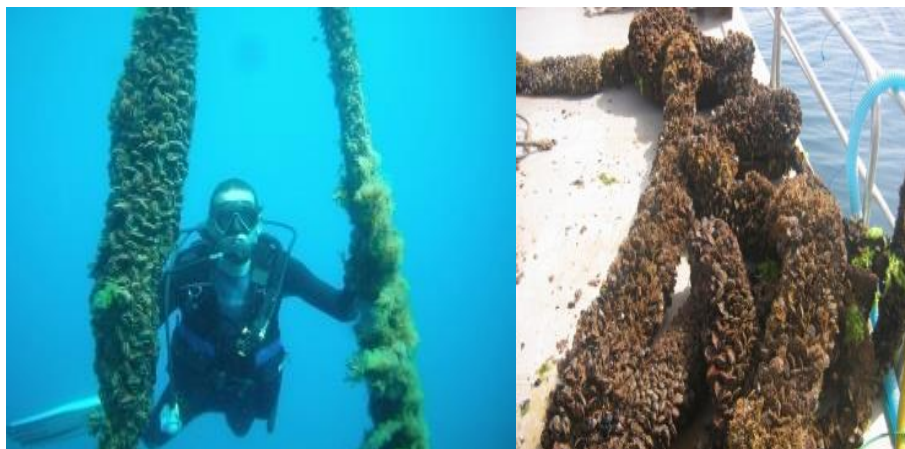
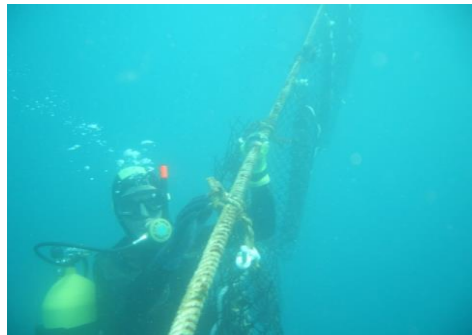


Exemple de filière de sub-flottante (Bompais, 1991).

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

Chapitre 5 :

Conception d'une écloserie

1- Introduction.

La disponibilité en jeunes poissons, crustacés et mollusques est un élément clé pour initier puis pérenniser ces productions. La pêche de S juvéniles dans le milieu naturel est aléatoire et ne s'inscrit pas dans une démarche durable de l'activité aquacole. Les écloséries ont donc été développées pour les produire. Elles ont pour objectif la production et l'élevage larvaire des poissons, des crustacés et de mollusques destinés à être transférés vers des installations d'aquaculture (bassins de grossissement).

2- Définition

L'éclosérie est une installation où les œufs éclosent dans des conditions artificielles. Elle peut être utilisée pour la conservation in-situ des alevins, des post-larves ou des naissains, pour reproduire des espèces rares ou en péril dans des conditions contrôlées ou alternativement. Ces outils sont positionnés à terre près du littoral et alimentés en eau par pompage. Ils sont gérés par un personnel à haut niveau de technicité, capable d'appliquer des méthodes d'élevage élaborées.

On distingue deux modèles d'éclosérie:

- Celle qui traite qu'une seule espèce (écloséries spécialisées)
- celle qui est consacrée à plusieurs espèces.

Actuellement, la tendance penche plutôt pour les écloséries polyvalentes, en accord avec l'orientation moderne vers l'élevage mixte, ou polyculture des espèces à habitudes alimentaires différentes, qui permet d'utiliser toutes les ressources nutritives du bassin pour en tirer le meilleur rendement.

3- Objectifs

Aujourd'hui, les écloséries assurent aux exploitations de grossissement :

- Production hors saison : Une disponibilité pendant une grande partie de l'année.
- Amélioration génétique : Des modifications génétiques sont effectuées dans certaines écloséries pour améliorer la qualité et le rendement des espèces d'élevage. La fertilisation artificielle facilite les programmes de sélection sélective qui visent à améliorer les caractéristiques de production telles que le taux de croissance, la résistance aux maladies, la survie, la couleur, une fécondité accrue et/ou un âge de maturation inférieur.
- Une capacité à produire des cohortes d'animaux calibrés.
- Réduire la dépendance à l'égard des juvéniles sauvages : Bien que les juvéniles capturés dans la nature soient encore utilisés dans l'industrie, les préoccupations concernant la

durabilité de l'extraction des juvéniles, ainsi que le moment et l'ampleur variables des épisodes naturels de frai, font de la production en éclosion une alternative intéressante pour répondre aux demandes croissantes de l'aquaculture.

4- Infrastructures.

Chaque éclosion contient les unités suivantes :

- a) **Un bâtiment** : composé d'une structure à 100% en acier galvanisé et entièrement boulonné, comportant un espace suffisant pour installer les unités d'éclosion et d'élevage des larves.
- b) **L'unité des géniteurs** : en circuit fermé, afin de contrôler les paramètres physico-chimiques et la photopériode pour l'obtention de ponte décalée. Bassins équipés de récolteurs d'œufs si nécessaire. Le traitement de l'eau faisant appel à des techniques de filtration mécanique, de stérilisation et de traitement biologique et thermique permet de maîtriser l'éclosion des œufs et d'offrir un bon renouvellement.
- c) **L'unité larvaire** : avec bacs d'élevage aux conditions hydrodynamiques très précises, généralement cylindro-coniques. Mise en place des installations pour la production des Rotifères, d'algues microscopiques et d'Artémia.
- d) **L'unité de sevrage** : dans laquelle les larves sont transférées dans des bassins plus grands et habituées à une nourriture inerte. Elles sont ensuite acheminées à l'unité nurserie après quelques semaines.
- e) **L'unité nurserie** : qui réceptionne les alevins après les dernières métamorphoses, et produit des poissons de quelques grammes déjà commercialisables (près-grossissement et grossissement).

Ces espaces de production sont équipés de moyens d'élevage développés et optimisés pour maximiser la survie et la croissance des larves : formes et couleurs des bacs, systèmes automatiques d'alimentation, éclairage artificiel.

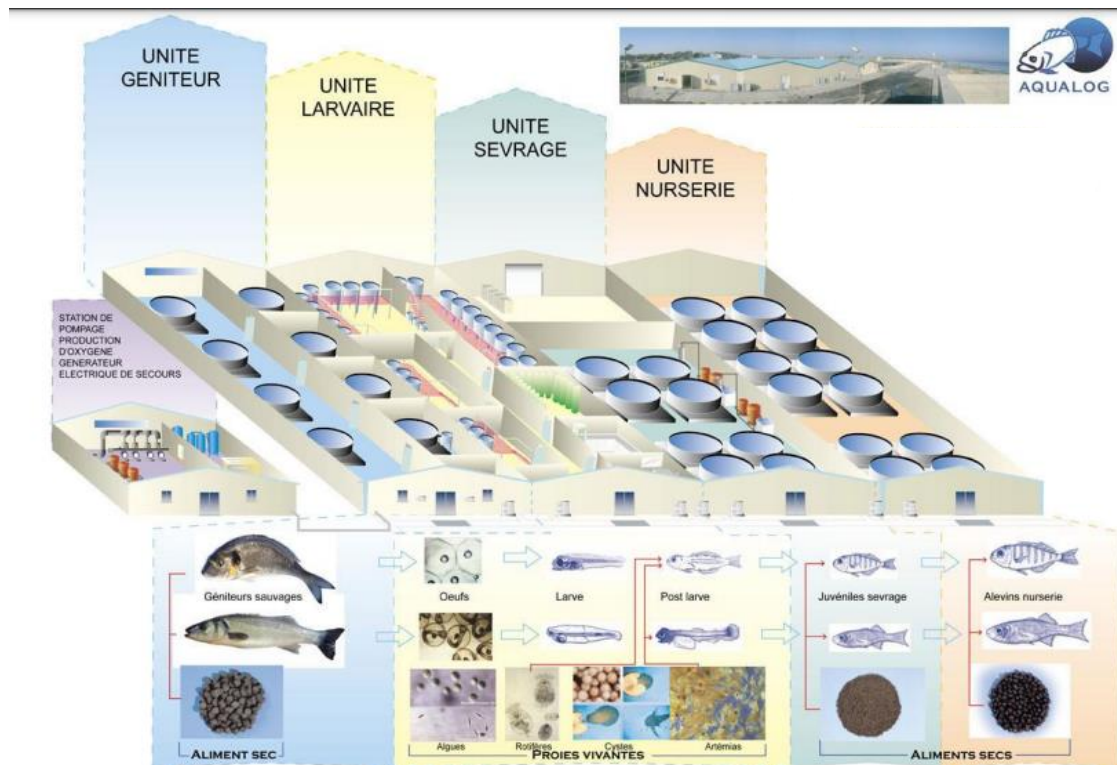


Figure 1 : différents compartiment d’une éclosier (Fiche Ifremer aquaculture, 2012).

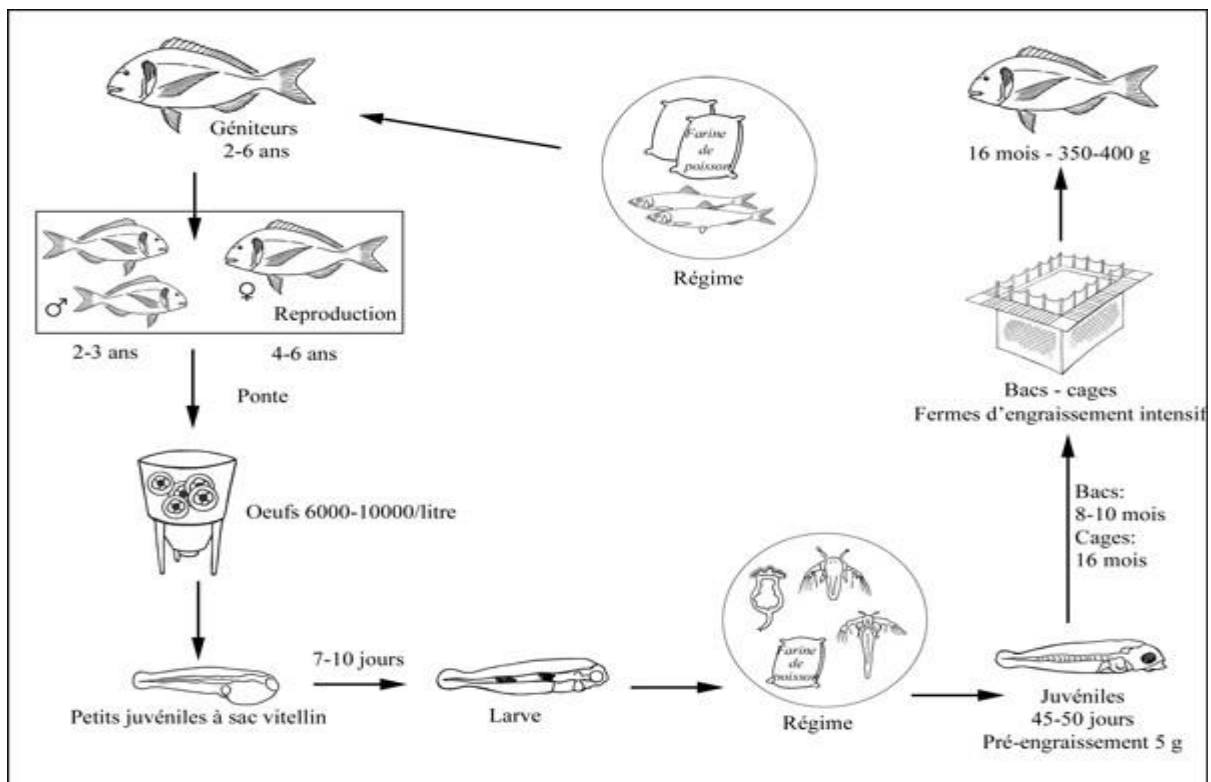


Figure 2 : Cycle de production de daurade (système intensif) (FAO, 2009)

f) **Unité de pompage et de traitement de l'eau** : dépendra de la qualité de l'approvisionnement en eau. A partir de là, des traitements par filtration mécanique, par stérilisation et bio-filtration sont réalisés.



Figure 3. Système de filtration : biologique à gauche et mécanique à droite (Ifremer,2012)

5- Conditions préalables à la création d'une écloserie.

La création d'une écloserie nécessite le respect de plusieurs conditions préalables :

1) Disponibilité d'une source d'eau adéquate en termes de quantité et de qualité et également garantir le bon développement des juvéniles en minimisant le risque sanitaire.

L'écloserie utilise de l'eau douce ou de l'eau de mer. Elle peut provenir de barrages, réservoirs, étangs, rivières, canaux et puits plus ou moins profonds. Ceux-ci doivent toujours être en parfait état de fonctionnement car une panne de l'un ou de l'autre peut entraîner l'arrêt provisoire de l'écloserie et la perte des élevages en cours.

- **L'eau douce**

L'eau utilisée dans l'écloserie alimente les bassins de stockage ainsi que les dispositifs d'incubation et d'élevage des larves. La gestion de la température de l'eau est également cruciale, notamment pour les poissons d'eau chaude, qui nécessitent une température comprise entre 20 et 30°C pour se reproduire. Il est donc important de prendre en compte ce paramètre lors de la planification de l'écloserie. Idéalement, un système d'adduction d'eau chaude et d'eau froide doit être prévu afin de permettre un mélange permettant d'atteindre la température optimale.

L'eau sert également au nettoyage des équipements, elle doit donc être propre, et si possible, de qualité potable. L'eau douce utilisée pour le nettoyage et le rinçage du matériel est stockée dans des fûts de 200 litres placés dans chaque salle de l'écloserie. Ces fûts sont

remplis quotidiennement et chlorés à 40 g/m³ pour éliminer les germes sur les équipements en contact avec les élevages. En fin de journée, l'eau des fûts est utilisée pour le nettoyage général des locaux.

Remarque : L'adduction d'eau regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux vers les lieux de consommation.

Dans le cas de la nurserie, l'eau douce va servir non seulement au nettoyage des bacs, mais aussi à baisser la salinité de l'eau de mer. La baisse de salinité est indispensable dans le cas où les post-larves doivent êtreensemencés dans des bassins à faible salinité. Pour cette utilisation l'eau douce sera utilisée telle quelle sans filtration.

- **L'eau de mer**

L'eau de mer est acheminée dans l'écloserie par un système de pompage, synchronisé avec les marées. Le pompage, généralement effectué au début de la marée montante, permet de remplir une cuve de stockage de 30 m³, garantissant ainsi l'approvisionnement en eau pour une période de 12 heures, correspondant à l'intervalle entre deux marées. Le degré de filtration dépend des unités à desservir. Après le pompage, l'eau passe d'abord à travers un filtre à sable de 50 microns, puis est acheminée soit vers la nursery, soit vers la cuve de stockage.

L'eau de mer fait l'objet d'un contrôle rigoureux. Elle est filtrée mécaniquement pour éliminer les particules organiques et minérales de 1 à 10 microns, puis subit un traitement par rayons ultraviolets. Ce processus vise à prévenir l'introduction de bio-agresseurs, principalement d'origine bactérienne, virale, ou parasitaire, dans les bacs d'élevage. De plus, la régulation thermique des milieux d'élevage est parfois nécessaire pour favoriser le bon développement des animaux.

- 2) Surface de terrain appropriée pour l'aménagement des bassins, des bacs d'éclosion, des bâtiments, ... etc.
- 3) Approvisionnement en électricité, si possible.
- 4) Infrastructures de communication et de transport accessibles.
- 5) Main-d'œuvre disponible : Le travail en écloserie, qui est délicat, exige un personnel appliqué, soigneux, précis et adroit.

6- Fonctionnement d'une écloserie.

- **Sélection et stabulation des géniteurs :** il est important de sélectionner des géniteurs de qualité pour maximiser la production de larves viables. Les géniteurs doivent être choisis en fonction de leur âge, leur taille, leur santé et leur comportement reproducteur.



Figure 4. Placement des géniteurs des bassins de stabulation (Ifremer, 2012).

- **Ponte des œufs dans des bassins spécifiques :** les œufs doivent être pondus dans des bassins spécifiques pour faciliter leur suivi et leur traitement.



Figure 4. Récolte des ovules à gauche et de laitance à droite par pression abdominale chez un poisson (Ifremer. 2012)

- **Incubation des œufs Après la collecte:** les œufs viables sont dénombrés puis placés dans un bac d'incubation spécifique pour faciliter leur suivi et leur traitement. Cette phase correspond à la période du développement de l'embryon (embryogénèse) à l'intérieur des membranes de l'œuf ; elle se termine à l'éclosion d'une larve vésiculée nageante. La durée de l'embryogénèse est spécifique à chaque espèce. Elle est également dépendante de la température du milieu d'élevage dans un intervalle également spécifique à chaque espèce.



Figure 5. Bacs pour incubation des œufs.

- **Éclosion des larves :** Après leur période d'incubation, les larves éclosent et nécessitent une surveillance attentive pour garantir leur développement normal.



Figure 6. Eclosion des larves.

- **Nourrissage des larves avec des aliments microscopiques :** Les larves nécessitent des aliments microscopiques pour assurer leur croissance et leur développement initial. Parmi ces aliments figurent les infusoires, les rotifères et les euglènes, qui sont essentiels pour leur alimentation durant les premières étapes de leur vie. Les écloseries doivent donc prévoir des cultures de ces organismes pour nourrir les larves. Ces aliments peuvent être produits directement sur place, à l'intérieur de l'écloserie, ou bien achetés auprès de fournisseurs externes.



Figure 7. Aliments destinés aux larves après éclosion.

- **Contrôle de la qualité de l'eau et de la température :** Les écloseries doivent maintenir des niveaux d'eau constants et de haute qualité, ainsi qu'une température appropriée pour chaque espèce, en fonction de leurs besoins. Des systèmes de chauffage ou de refroidissement peuvent être utilisés pour contrôler la température.

7- Protocoles de manipulation du poisson dans les écloseries.

- Ne déplacer les poissons qu'en cas de nécessité.
- Ne retirer les poissons vivants de l'eau qu'en cas de nécessité.
- Utiliser un plateau ou une plaque lisse pour prélever les poissons
- Ne pas attraper les poissons vivants par les branchies ou par la queue.
- Éviter de manipuler brutalement les poissons pour réduire autant que possible les dommages

8- Avantages et inconvénients.

- ✓ Economie d'eau, d'énergie et de place.
- ✓ Meilleure gestion de la production,
- ✓ Meilleur contrôle des paramètres physico-chimiques
- ✓ Maîtrise sanitaire.

Cependant :

- ✗ Les coûts de construction sont relativement élevés
- ✗ Cette technique de l'élevage demande une compétence et une conscience professionnelle accrue
- ✗ Nécessité d'une présence de 7 jours par semaine, matin et après-midi
- ✗ Augmentation des risques de maladies dus à une charge biotique élevée.

Références bibliographiques

- Avallé, O & Randriantomponiony, R.** (1994) : Manuel d'écloserie. FAO/MAG/88/006
- Beveridge, M.C.M.** (2004). Cage Aquaculture*. 3rd Edition. Oxford: Blackwell Publishing
- Boyd, C.E.** (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers.
- FAO,** (1986) : Techniques d'élevage intensif et d'alimentation de poissons et de crustacés.. SOMMAIRE. Villanova di Motta di Livenza - ITALIE - Vol. I, 1986
- FAO,** (2001) : Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems. FAO Fisheries Technical Paper No. 330. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO,** (2006) : Méthodes simples pour l'aquaculture. Version 2. CD-ROM. Rome. **FAO.** 2006d
- MOUILLERON, A.** (2018). Conception et réalisation d'une écloserie d'esturgeons. Mémoire de fin d'études. Spécialité : SML-Biologie, option: Sciences Halieutiques et aquacoles (AQUA). - disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-ncnd/4.0/deed.fr>
- TRINTIGNA, P ; BOUIN, N ; KERLEO, V ; LE BERRE, M.** (2013). Guide des bonnes pratiques de gestion piscicole des étangs.
- Petton, B** (2012) : Les écloseries de poissons marins. <http://aquaculture.ifremer.fr/Fiches-d-information>
- Timmons, M.B & Ebeling, J.M.** (2013). Recirculating Aquaculture*. 3rd Edition. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures.

Liste des liens :

<https://www.shutterstock.com/fr>

<http://aquaculture.ifremer.fr/Fiches-d-information>