

Les problèmes de l'eau en pisciculture

4^e trimestre 1975

Deuxième partie. — L'oxygénation des eaux de pisciculture Méthodes de choix d'un procédé (*)

par J. PETIT et J.-L. FERRON,
Laboratoire de physiologie des poissons I. N. R. A. (**)

I - ASPECTS GÉNÉRAUX DE L'OXYGÉNATION DES EAUX

1 - Qu'est-ce que l'oxygénation des eaux en pisciculture ?

L'oxygénation est une opération qui consiste à mettre en contact intime l'eau et un gaz contenant de l'oxygène, en vue d'accroître la teneur de l'eau en oxygène dissous.

2 - Pourquoi oxygéner ?

A chaque température, il existe une teneur minimale en oxygène, en dessous de laquelle le poisson « souffre », cela se traduit par une croissance médiocre, un indice de transformation élevé, une mortalité accrue. Ce seuil se situe autour de 5,5 mg/l pour des températures allant de 8 °C à 18 °C.

Un apport artificiel d'oxygène est à envisager chaque fois que ce seuil risque d'être franchi.

Les causes d'une diminution du taux d'oxygène dissous peuvent provenir essentiellement :

- d'une baisse de débit ;
- d'une élévation de température (figure 1) qui, à débit égal, augmente les besoins en oxygène, diminue les disponibilités en oxygène des eaux naturelles et les performances des dispositifs d'oxygénation ;
- de l'agitation des poissons, notamment lors de la prise de nourriture (figure 2) ;
- d'une pollution externe ou propre à la pisciculture (alimentation, soulèvement des boues décantées, etc.).

(*) Voir la pisciculture française, n° 42, pages 18 à 23 : Première partie. — Le recyclage.

3 - Comment aborder un problème d'oxygénation des eaux en pisciculture ?

3 - 1 - Disponibilité en énergie

On exploitera au maximum le dénivelé existant sur le site, qui représente l'énergie gratuite disponible permettant l'oxygénation :

- par cascades ;
- par tubes en U.

Les autres procédés utilisent l'énergie électrique et éventuellement de l'oxygène pur sous pression.

La quantité d'oxygène nécessaire ayant été fixée, la puissance à mettre en œuvre sera d'autant moins importante :

- que le gaz sera riche en oxygène ;
- que la pression à laquelle s'effectuera le transfert sera importante ;
- que l'écart à la saturation de la concentration à maintenir sera important.

L'exploitation du premier point suppose l'apport d'oxygène pur. Le gain d'énergie est à mettre en balance avec le coût de l'oxygène dépensé.

Le deuxième point indique que l'on a intérêt à faire passer le mélange eau-air sous pression, dans une fosse par exemple, chaque fois que c'est possible.

Le troisième point consiste à choisir une teneur en oxygène raisonnable (7 mg/l par exemple) ; la figure 3 montre qu'en effet on dépense trois fois plus d'énergie en voulant maintenir l'eau à 90 % de la saturation qu'à 70 %.

(**) Laboratoire de physiologie des poissons I. N. R. A., 78350 Jouy-en-Josas, tél. 956.80.80, poste 290.

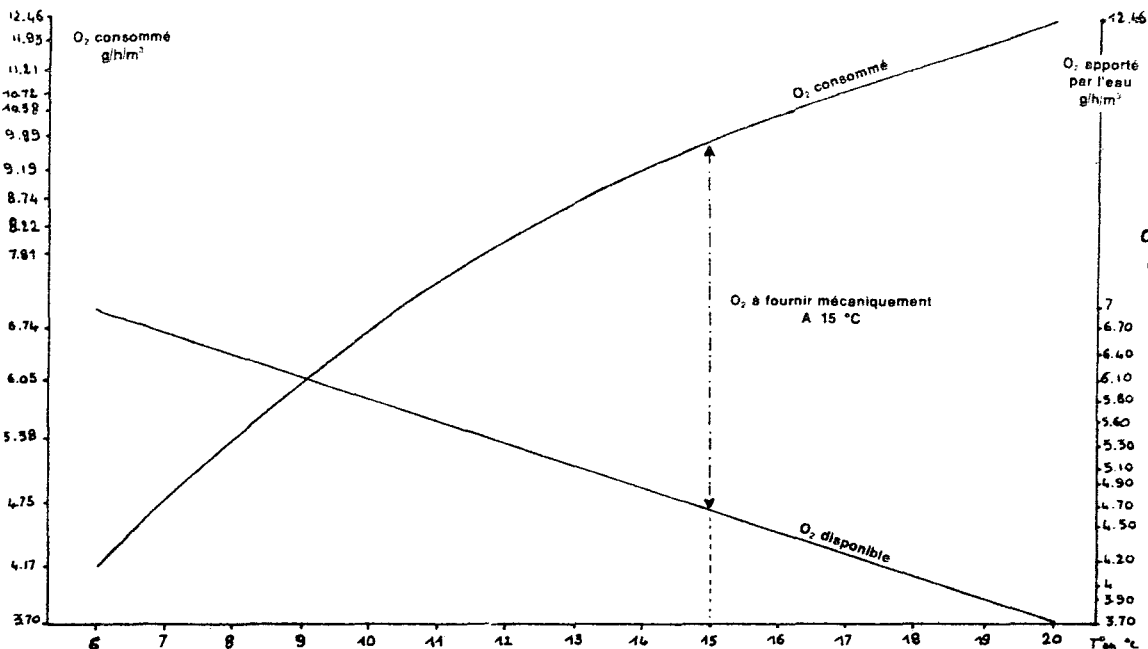


Fig. 1. — Besoins moyens en oxygène d'un bassin de truitelles de 125 g, chargé à 30 kg/m³/h.

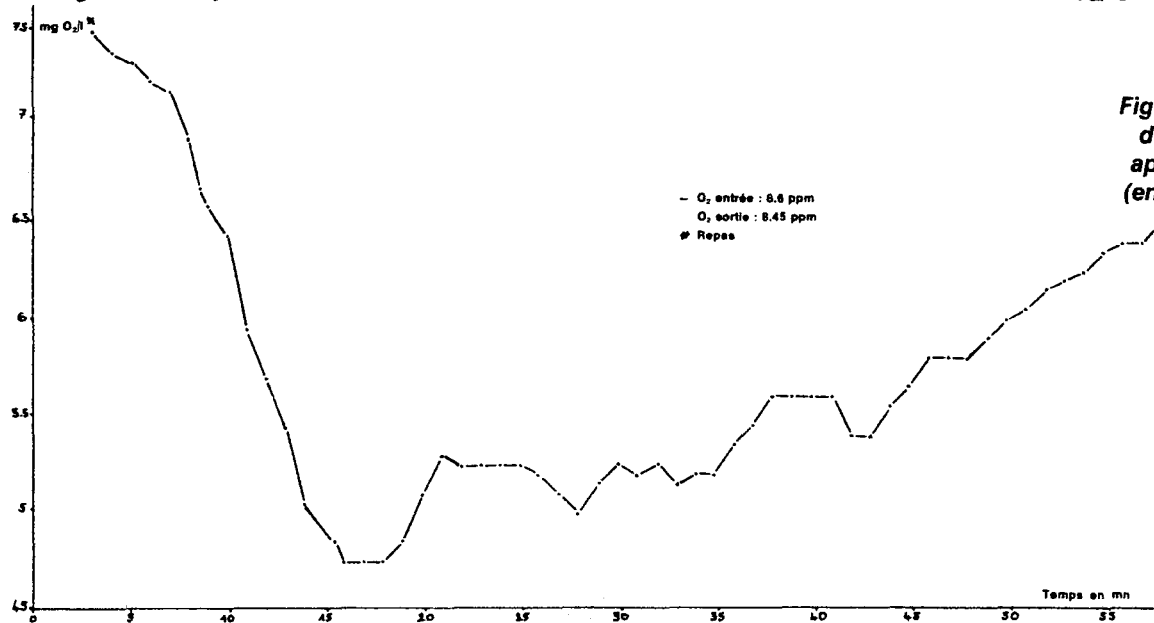


Fig. 2. — Fluctuations du taux d'oxygène après l'alimentation (en sortie de bassin).

3 - 2 - Les besoins en oxygène

Les besoins en oxygène sont essentiellement dépendants de :

- la taille du poisson ;
- la température.

Ils subissent, en outre, une variation quotidienne liée à l'alimentation, et des variations annuelles liées à la maturation des géniteurs.

Les besoins moyens sur 24 heures sont estimés à partir de la formule de LIAO (4) [figure 4] :

A ces besoins, il convient de retrancher l'apport d'oxygène par l'eau arrivant dans la pisciculture (concentration de l'oxygène à l'entrée moins 5,5 mg/l) pour estimer la quantité d'oxygène à fournir mécaniquement.

Un certain nombre de correctifs particuliers sont à appliquer dont les plus importants se font dans les cas suivants :

- photosynthèse et respiration des végétaux situés en amont de la pisciculture ;

- bassins à courants lents avec dépôts de fond importants ;
- pollution.

3 - 3 - Cahier des charges

Un constructeur ou un vendeur d'appareil d'oxygénation aura besoin des éléments suivants pour déterminer le matériel adéquat :

1° Schéma de l'exploitation avec relevé des teneurs en oxygène dissous aux points caractéristiques (bief d'entrée, entrée-sortie du bassin le plus chargé, sortie de pisciculture, etc.). Indiquer les profondeurs d'eau et la nature du fond des bassins.

2° Quantité d'oxygène à transférer en kg/h aux principaux points.

3° Concentration en oxygène dissous à obtenir et températures moyenne, minimale et maximale.

4° Pollution s'il y a lieu.

5° Type d'utilisation, continue ou intermittente.

6° Indiquer ce que l'on considère comme durée économique (un remplacement fréquent peut être plus économique qu'un aérateur très cher).

II - LE MATÉRIEL

Nous examinerons :

1. - Les dispositifs pouvant fonctionner sans apport d'énergie autre que l'énergie potentielle de l'eau : cascade et tube en U (*).

2. - Les dispositifs utilisant un gaz sous pression :

- bullage fine bulle, avec ou sans turbine ;
- canon ;
- oxygène pur.

3. - Les turbines et brosses :

- turbines de surface lentes et rapides ;
- turbines immergées ;
- brosses.

4. - Les dispositifs nécessitant un pompage : hydro-éjecteurs.

5. - Divers :

— D. B. C. A. (Downflow Bubble Contact Aeration) ;

- tour d'aération ;
- veines à cavitation.

6. - Tableau comparatif avec les critères de choix et principaux constructeurs.

Nous examinerons enfin les problèmes de mise en place et de surveillance.

1 - CASCADES ET TUBE EN U (Figure 5)

1 - 1 - LES CASCADES

Une étude précise du dénivelé disponible sur le site de l'exploitation et la création de cascade bien aménagée aux endroits nécessaires peuvent être source d'importantes économies sur les aérateurs.

En règle générale, on évitera les cascades en tête de pisciculture, sauf si l'eau présente un réel déficit en oxygène à l'entrée. La lame d'eau décollera toujours franchement du déversoir.

1 - 1 - 1 - Caractéristiques de fonctionnement

Une cascade est caractérisée par sa hauteur, par la profondeur du bassin récepteur et par le nombre et la nature des dispositifs intercalés sur le trajet de l'eau.

(*) L'importance du sujet nous contraint à ne traiter que les cascades et tubes en U dans la présente revue. L'étude des autres dispositifs d'aération sera publiée ultérieurement.

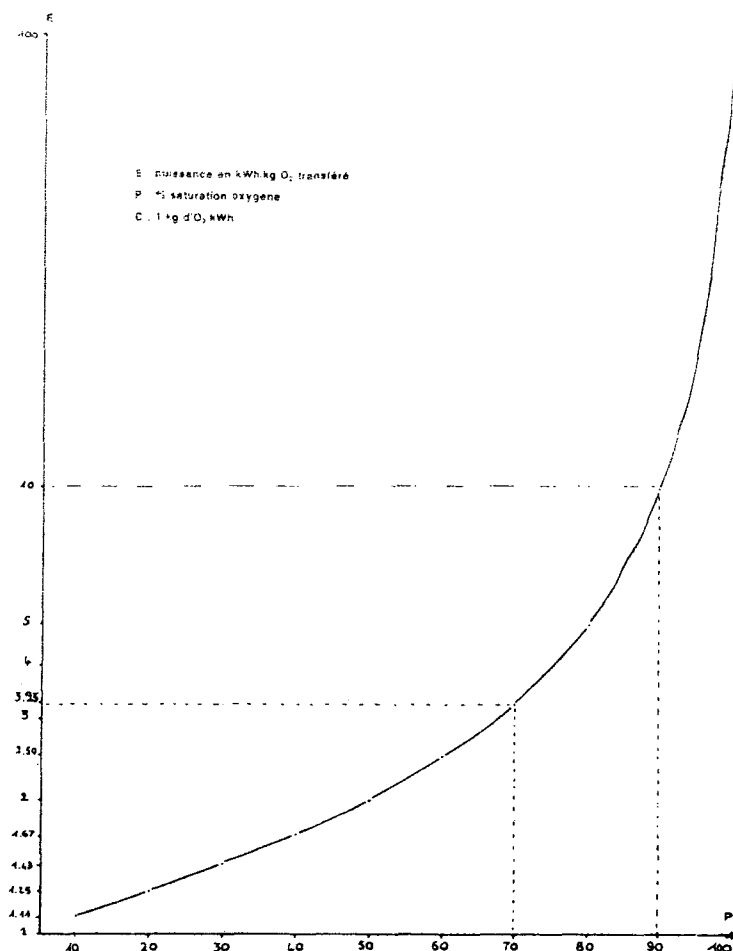


Fig. 3. — Énergie nécessaire pour transférer 1 kg d'oxygène par heure à différentes concentrations d'oxygène dissous.

Fig. 4. — Consommation d'oxygène en fonction de la température. LIAO (1971).

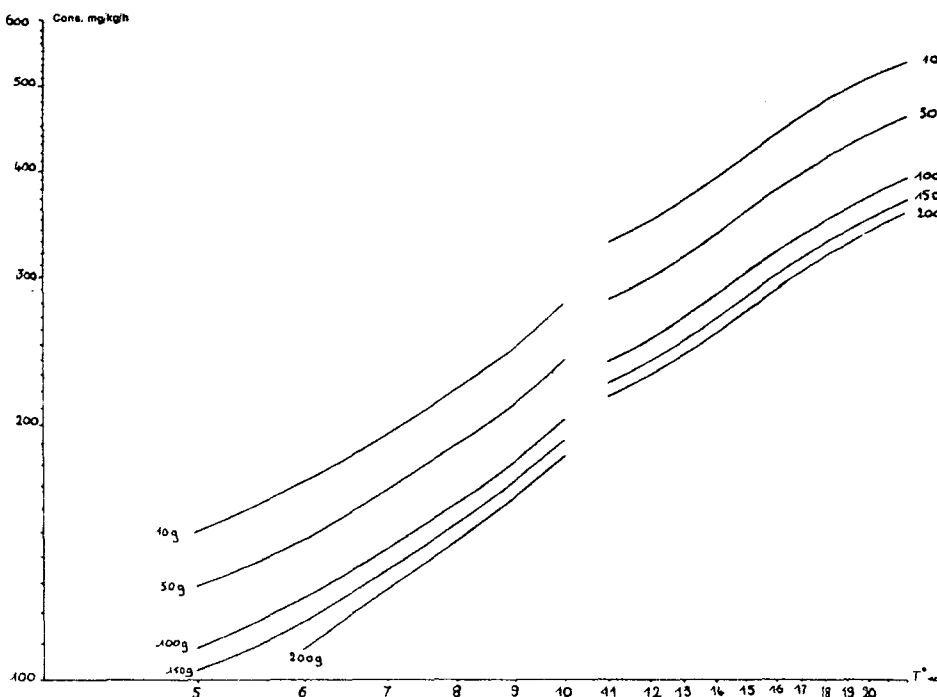
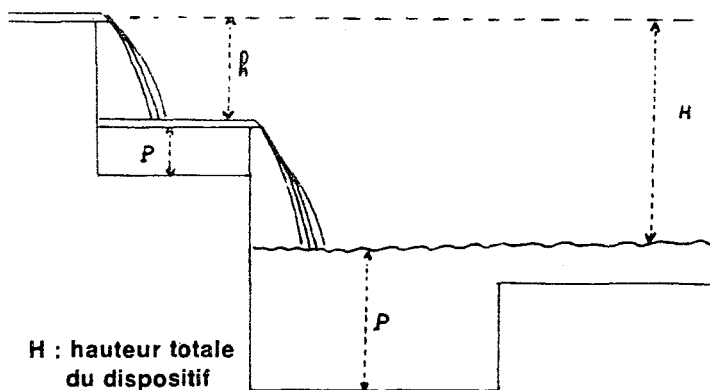


Fig. 5. — Principales caractéristiques d'une cascade.



H : hauteur totale du dispositif

h : hauteur d'une chute d'eau

P : profondeur du bassin récepteur

Comme pour tous les dispositifs qui vont suivre, nous caractériserons l'efficacité de la cascade par un coefficient K, dit coefficient de transfert. Plus ce coefficient est élevé, plus le dispositif est efficace.

K étant connu, on peut estimer l'efficacité d'un dispositif à partir de la formule :

$$\frac{dC}{dt} = K (C_s - C_e)$$

dC : oxygène transféré en g/m³.

dt : temps en heures.

C_s : concentration en g/m³ de l'eau à saturation.

C_e : concentration à l'entrée du dispositif ou dans le bassin en traitement en g/m³.

K : coefficient de transfert en heure⁻¹ $\left(\frac{1}{\text{heures}}\right)$

Exemple : les aménagements apportés à une cascade permettent d'espérer un coefficient de transfert K = 0,60, l'eau à l'entrée est à 5,5 g/m³ d'oxygène, la température de 13 °C (donc à saturation contient 10,2 g/m³ d'oxygène).

Concentration au pied de la cascade :

$$\frac{dC}{dt} = 0,60 \times (10,2 - 5,5) = 2,82 \text{ g/m}^3/\text{H}$$

La concentration en aval est de : 5,5 + 2,82 = 8,32 g/m³.

Nous allons étudier les variations de K pour différentes conditions de travail d'une cascade.

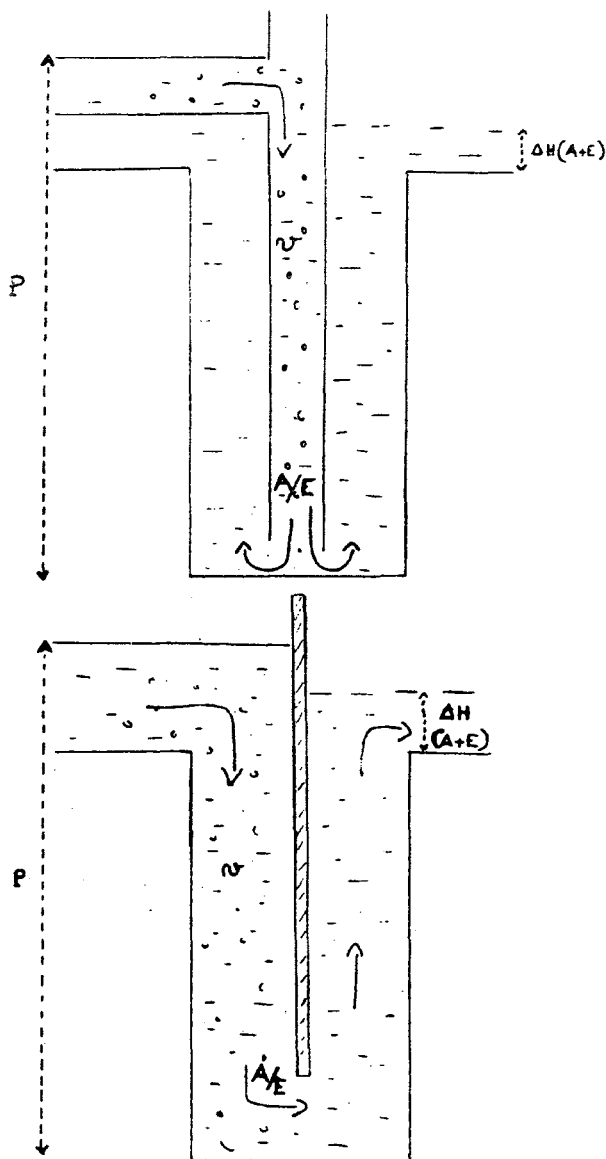
1 - 1 - 2 - Effet de la profondeur bassin récepteur (6) [figure 6]

Pour des hauteurs de chute inférieures à 1,40 m, l'éclatement de la lame sur une plaque (profondeur nulle du bassin récepteur) donne des résultats égaux ou supérieurs à ceux d'un bassin récepteur profond.

Pour des hauteurs allant de 1,40 m à 3 m, le coefficient de transfert est maximal à partir d'une profondeur du bassin récepteur égale à 10 % de la hauteur de chute.

Dans tous les cas des profondeurs de bassins récepteurs inférieures à 15 cm et non nulles donnent de médiocres résultats.

Principales caractéristiques du tube en « U ».



P : hauteur d'eau dans la branche descendante

A/E : débit d'air/débit d'eau en %

(L'air ne peut être injecté sous pression ou par cascade)

$$\Delta H(A+E) = \Delta H_A + \Delta H_E$$

• ΔH_A : perte de charge due à l'air

• ΔH_E : perte de charge due à l'eau

$$v = \frac{D}{S} \text{ m/s}$$

• v : vitesse de descente de l'eau en m/s

• D : débit du tube en m³/s

• S : surface de la branche descendante m²

Conclusions. — 1° Cascades inférieures à 1,40 m : on éclatera la lame d'eau au pied de la cascade sur une plaque.

2° Cascades de plus de 1,40 m : le bassin récepteur aura au moins 10 % de la hauteur de la cascade.

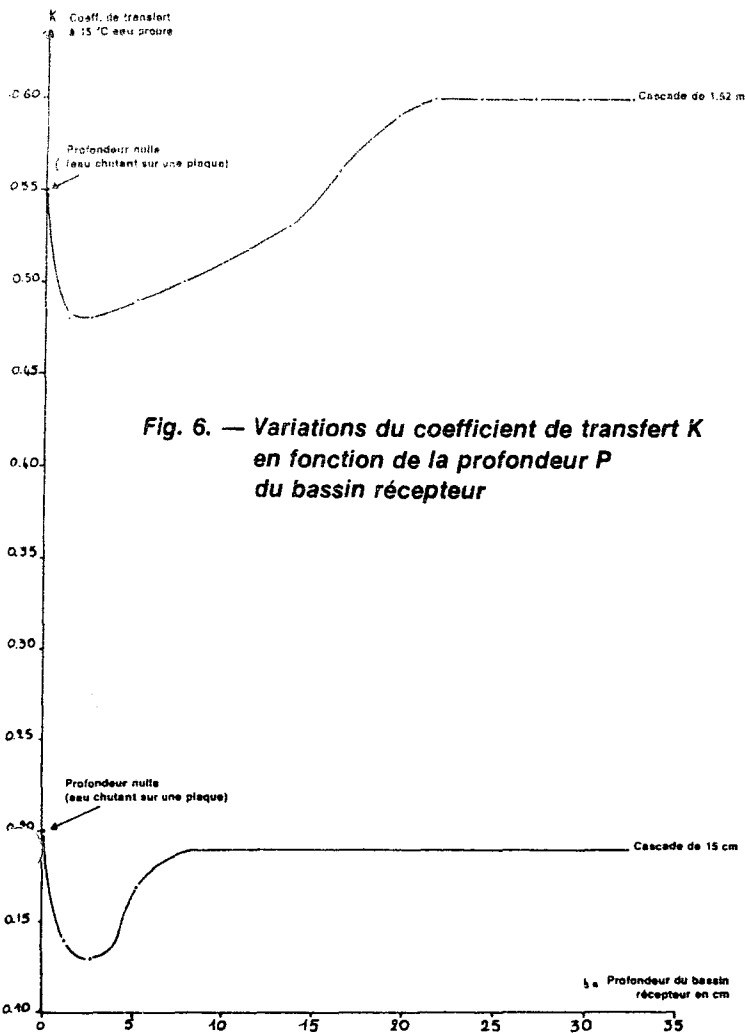


Fig. 6. — Variations du coefficient de transfert K en fonction de la profondeur P du bassin récepteur

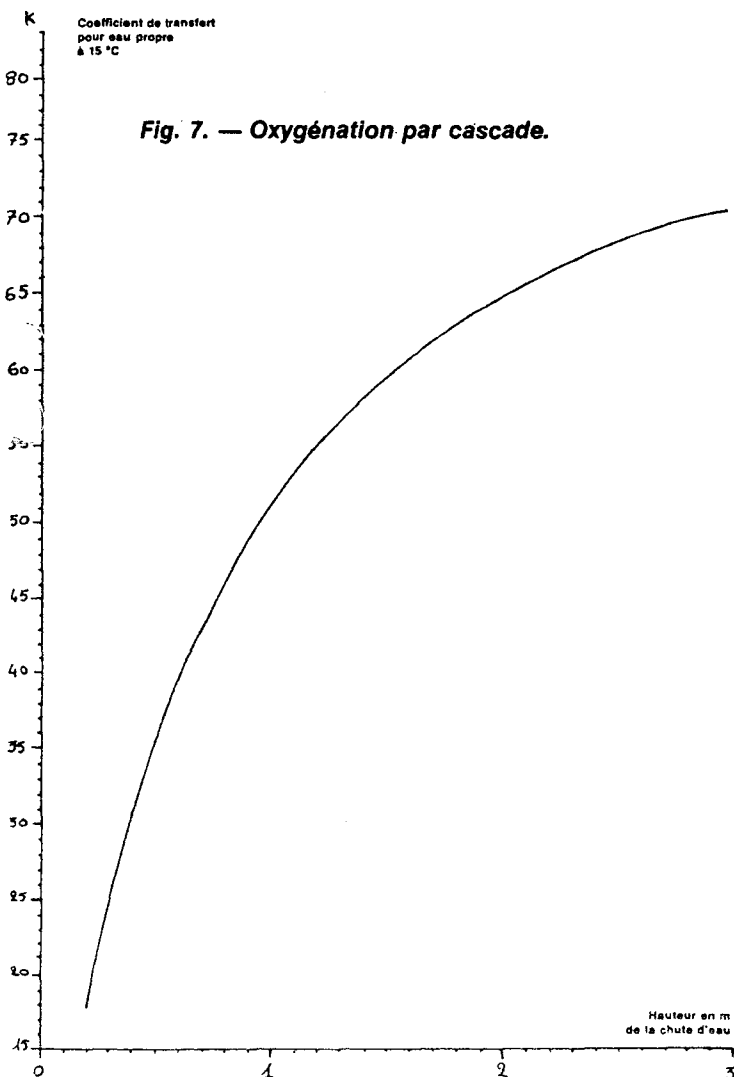


Fig. 7. — Oxygénation par cascade.

1 - 1 - 3 - Effets de la hauteur de la cascade (figure 7)

Pour des cascades inférieures à 3 m, on calculera K à partir de :

$$K = 1 - \frac{1}{[1 + 0,69 h (1 - 0,11 h) (1 + 0,046 \Theta)]}$$

Plus la cascade est importante, plus le coefficient de transfert est élevé.

h : hauteur de la cascade en m.

Θ : température (°C).

1 - 1 - 4 - Aménagement d'une cascade en plusieurs petites chutes

Les cascades de plus de 1 m ont toujours avantage à être fractionnées.

Le nombre de sous-cascades à créer dépend de chaque cas particulier. On calcule le rendement de chaque chute et on compare l'efficacité de chaque dispositif.

Exemple : cascade de 1,50 m ; température : 13 °C ; concentration d'entrée : 5,5 g/m³.

La cascade non aménagée, on obtient 8,3 g/m³ dans le bassin récepteur :

— avec 2 cascades de 0,75 m, on obtient 8,9 g/m³ dans le bassin récepteur ;

— avec 3 cascades de 0,50 m, on obtient 9,0 g/m³ dans le bassin récepteur ;

— avec 4 cascades de 0,37 m, on obtient 9,0 g/m³ dans le bassin récepteur ;

— avec 10 cascades de 0,15 m, on obtient 9,2 g/m³ dans le bassin récepteur.

Il apparaît immédiatement que, dans ce cas particulier, au-delà de 2 à 3 cascades, le rendement ne se trouve pas amélioré.

1 - 1 - 5 - Autres facteurs intervenant

La pollution des eaux diminue les rendements.

Des aménagements particuliers (grilles, tubes (3)) peuvent augmenter légèrement les rendements par rapport à une cascade fractionnée de façon optimale.

Les systèmes à grilles ou à plaques perforées demandent à être nettoyés pour garder leur efficacité (algues, dépôts).

1 - 1 - 6 - Apport spécifique brut ; apport réel (2)

Si le dénivelé est obtenu par pompage, on peut exprimer le rendement de la cascade en kg d'oxygène transféré par kWh et le comparer ainsi aux autres dispositifs consommant de l'énergie.

$$\bullet \text{ Apport spécifique} = \rho = \frac{CO}{P}$$

CO : capacité d'oxygénation à 0 mg/l, 10 °C (*) en kg d'O₂ par heure.

P : puissance en kWh.

(*) Entre 5 et 25 °C on peut se dispenser des corrections de températures.

La capacité d'oxygénation s'obtient à partir de :

$$CO = K \cdot C_s \cdot V$$

$\frac{g \text{ O}_2}{H} \quad h^{-1} \quad \frac{g}{m^3} \quad m^3$

C_s : concentration à saturation.

V : volume aéré ou débit en m^3/H .

La puissance électrique de pompage peut être estimée par :

$$P = \frac{10 \cdot Q \cdot H}{R}$$

• P : puissance absorbée en kWh de la pompe.

Q : débit pompé, en m^3/s .

H : hauteur totale en m CE.

R : rendement.

Exemple : cascade de 1 m (H) :

- débit de 0,5 m^3/s (Q) ;
- rendement de la pompe : 0,8 ;
- température : 15 °C ;
- $P = 6,25$ kWh.

Le coefficient de transfert de la cascade à 15 °C est $K = 0,51$.

$CO = 8987 \text{ g d'O}_2/H$
$p = 1,437 \text{ kg d'O}_2/kWh$

Le taux d'oxygène en aval pour une eau à 5,5 g/m^3 à l'entrée est de $C = 0,51 (9,79 - 5,5) + 5,5$.

$C = 7,69 \text{ mg/l}$

La capacité d'oxygénation réelle est de :

$$CO_{(5,5)} = 0,51 \times (9,79 - 5,5) \times 1800$$

$CO_{(5,5)} = 3938 \text{ g/H}$

L'apport spécifique réel est de :

$$P_{(5,5)} = \frac{CO_{(5,5)}}{6,25}$$

$P_{(5,5)} = 0,63 \text{ kg/kWh}$

Utilisation de ces données :

La capacité d'oxygénation et l'apport spécifique serviront à **comparer** différents dispositifs. Ce sont des données fournies avec l'appareil.

La capacité d'oxygénation réelle, l'apport spécifique réel et le taux d'oxygène obtenu donnent les **conditions d'exploitation**.

1 - 1 - 7 - Exemple 1 : aménagement d'une cascade entre deux bassins en série

Données. — Cascade de 60 cm, débit : 2 m^3/h :

- température : 15 °C ;
- concentration à saturation : 9,79 g/m^3 (formule 1) ;
- concentration à l'entrée : 5,5 g/m^3 .

Aménagements étudiés :

- plaque réceptrice ;
- double chute de 30 cm ;
- tôle perforée.

Chute simple :

Le calcul du coefficient de transfert à partir de la formule 2 donne $K = 0,40$.

Le taux d'oxygène en bas de la cascade sera de 7,1 g/m^3 .

La profondeur du bassin récepteur aura été ramenée à 0, par la pose d'une plaque sous la chute, au niveau du fil d'eau aval.

Une double chute de 30 cm (plaque interposée 30 cm au-dessus du plan d'eau) donne une concentration C_2 en aval de 7,4 g/m^3 .

En effet, après la première chute, on a :

$$K = 0,26 \text{ (formule 2)}$$

et une concentration C_1 en oxygène dissous de :

$$C_1 = 0,26 (9,79 - 5,5) + 5,5 = 6,61 \text{ g/m}^3$$

Après la deuxième chute, on a une concentration C_2 en oxygène dissous :

$$K = 0,26 \text{ (formule 2)}$$

$$C_2 = 0,26 (9,79 - 6,61) + 6,61 = 7,43 \text{ g/m}^3$$

Le coefficient de transfert du dispositif est de :

$$K_T = \frac{7,43 - 5,5}{9,79 - 5,5} = 0,45 \text{ (formule 3)}$$

Une tôle perforée (1) suivie d'une cascade de 30 cm donne une concentration en aval de 7,68 g/m^3 , soit un coefficient de transfert de 0,51 (figure 8).

Par ordre croissant d'efficacité on a donc :

- la cascade simple ;
- la cascade aménagée en 2 chutes ;
- l'écoulement sur plaque, suivi d'une chute.

L'aménagement de la cascade présente un intérêt puisque l'on obtient un gain de 2 $g/m^3/H$.

Remarque : supposons que la concentration d'entrée ait été de 7,8 g/m^3 d'oxygène.

La connaissance des coefficients de transfert permet de déterminer :

- avec la cascade simple, nous aurions eu 6,3 g/m^3 en aval ;
- avec la double chute, nous aurions eu 6,4 g/m^3 ;
- avec la tôle perforée, nous aurions eu 6,5 g/m^3 .

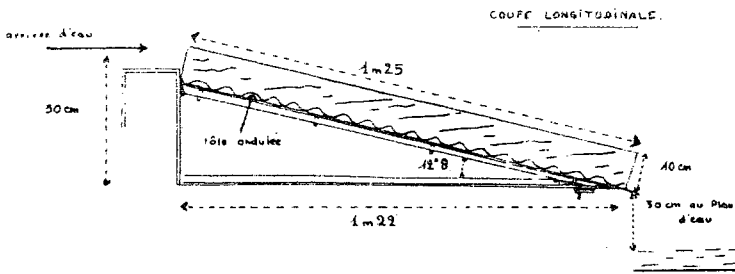
Dans ce cas, l'aménagement est sans intérêt.

Exemple 2 : recyclage par pompe, aération par cascade des eaux recyclées.

Un bassin de truites alimenté par 120 m^3/H d'eau à saturation à 15 °C est à 5,5 g/m^3 d'oxygène en sortie. Le pisciculteur souhaiterait remonter à 6 g/m^3 en recyclant l'eau en tête. Quel débit et hauteur de relevage choisir ?

Fig. 8. — Aménagement d'une chute.

Premier exemple : plaque ondulée perforée CHENESS-STEPHEN-HILL.



Débit : $110 \text{ m}^3/\text{H}$ pour une cascade de 60 cm
 $K = 0,51 \pm 0,05$

Valeur sans l'aménagement :
 $K = 0,39$

En règle générale et comme le montre l'étude des formules 2, 4 et 5, à efficacité égale une cascade élevée et de faible débit coûtera plus cher en kWh de pompage qu'une cascade de faible hauteur et de gros débit.

Les gros débits demandent toutefois des aménagements particuliers pour obtenir un étalement correct de la lame d'eau. Ils risquent en outre de perturber les poissons.

La quantité d'oxygène supplémentaire à fournir est de :

$$120 \times (6 - 5,5) = 60 \text{ g/H.}$$

La capacité d'oxygénation de la cascade devra être :

$$CO = K \cdot (C_s - 6) \cdot Q = 60 \text{ g/H.}$$

Supposons que le débit maximal ait été fixé pour des raisons d'hydraulique du bassin et de conditions d'élevage à $180 \text{ m}^3/\text{H}$, soit $60 \text{ m}^3/\text{H}$ recyclés, on obtient : $K = 0,26$, soit (formule 2, figure 7) $h = 30 \text{ cm}$.

L'apport d'oxygène par kWh sera de $0,96 \text{ kg}$ (formule 4) [rendement de la pompe $0,8$].

Remarque 1 : avec un relevage de 2 m, le débit nécessaire est de $26 \text{ m}^3/\text{H}$ pour obtenir les 60 g/H supplémentaires d'oxygène.

Mais l'apport d'oxygène au kWh est de $0,33 \text{ kg}$, soit une dépense trois fois plus importante en énergie.

Remarque 2 : supposons que le pisciculteur dispose d'une pompe de 26 m^3 relevant à 2 m et veuille l'utiliser. Il peut augmenter la rentabilité de sa chute en lui apportant des aménagements tels qu'ils sont décrits (1) sur les figures 9 et 10. On a alors : $K = 0,82$.

La concentration en sortie atteindra $6,1 \text{ g/m}^3$ et :

$$CO = 0,82 \times 3,65 \times 26 = 77 \text{ g/H (formule 6)}$$

$$p = 0,42 \text{ kg/kWh (formule 4)}$$

Cette solution reste malgré tout plus cher en fonctionnement que la première.

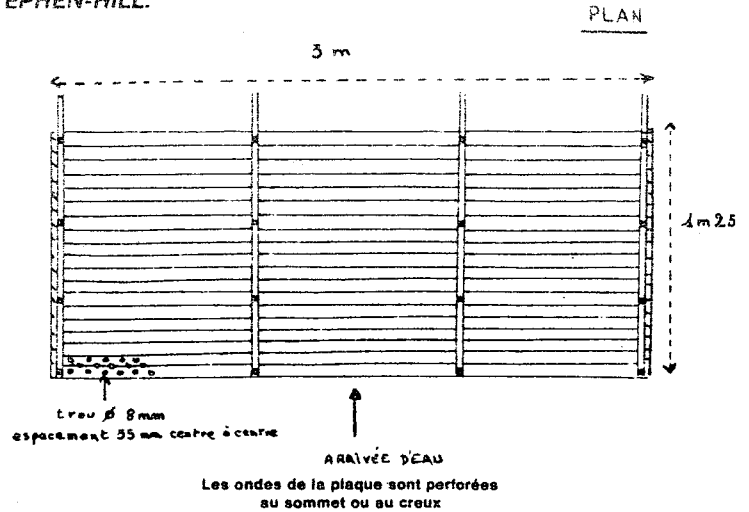
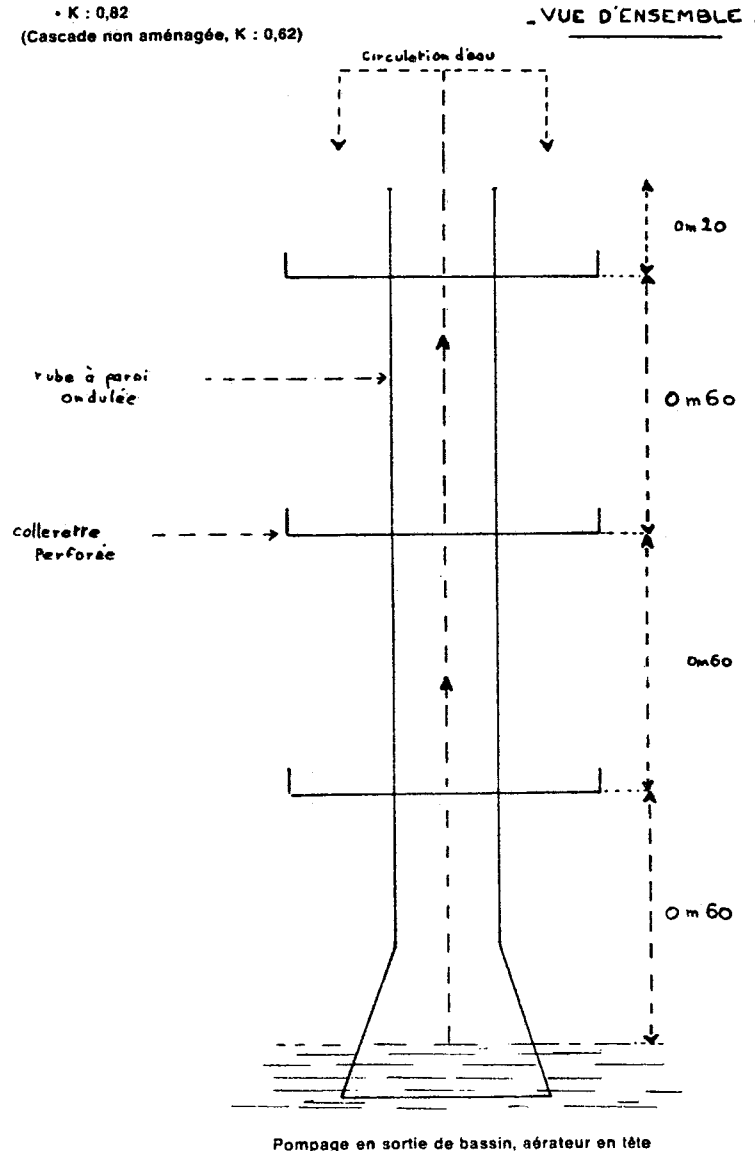
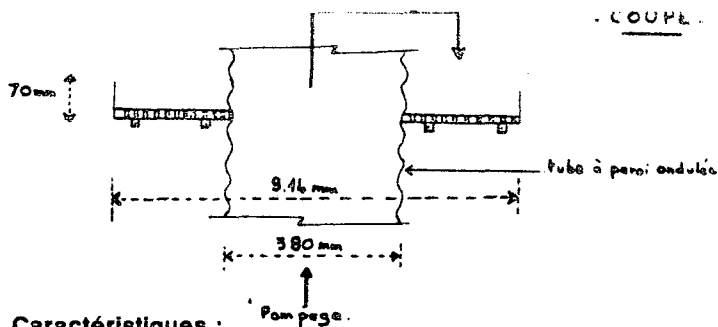


Fig. 9. — Aménagement d'une chute (CHENESS-STEPHEN-HILL)
 Deuxième exemple : collerette perforée

Ex. : relevage de 2 m
 • 3 collerettes à 0,60 m, 1,20 m et 1,80 m
 • $K : 0,82$
 (Cascade non aménagée, $K : 0,62$)





Caractéristiques :

- débit : 122 m³/h
- 16 trous/m³/h

Surface de la collerette

= 6 × surface des trous

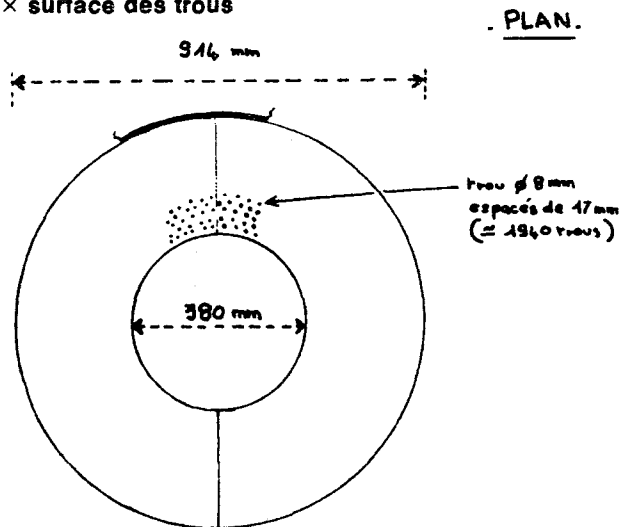


Fig. 10. — Aménagement d'une chute (CHENESS-STEPHEN-HILL). Deuxième exemple : col. perforée. 2. Détail d'une collerette.

1 - 2 - LES TUBES EN U (5)

1 - 2 - 1 - Caractéristiques

Le procédé dit « tube en U » et décrit par SPEECE, consiste à augmenter le coefficient de transfert d'un système d'oxygénation en faisant passer le mélange gaz-eau au fond d'une fosse où il se trouve alors sous pression.

Les caractéristiques (figure 5) d'un tel dispositif sont :

- la profondeur P qui détermine la pression hydrostatique ;
- la perte de charge hydraulique liée à la circulation de l'eau dans le tube, la perte de charge due à l'air ;
- le rapport débit d'air sur débit d'eau ;
- la vitesse de descente de l'eau déterminée par le rapport débit sur surface de la branche descendante du tube.

1 - 2 - 2 - Effet de la profondeur du tube

Pour un débit d'air (ou une hauteur de chute à l'entrée) donné, l'efficacité du tube augmente faiblement avec la profondeur (vitesse 1,10 m/s) [figure 11].

Par contre, le rendement du tube augmente fortement avec la profondeur (figure 12).

Donc dans la mesure où l'énergie provient d'une machine (pompe ou compresseur), des tubes de grandes profondeurs (plus de 3 m) sont conseillés pour que le tube soit intéressant.

1 - 2 - 3 - Effet de la vitesse de descente

La vitesse de descente détermine la section du tube et, avec la profondeur, détermine donc le coût d'investissement.

La figure 13 montre qu'avec des vitesses de l'ordre de 1 m/s à 1,5 m/s on obtient d'excellents rendements. Cette vitesse donne, même pour de gros débits, des installations relativement modestes, sans perte de charge excessive. La vitesse précise est à déterminer dans chaque cas en fonction du taux d'oxygène à atteindre.

1 - 2 - 4 - Effet du rapport débit d'air sur débit d'eau

Plus le rapport est élevé, plus l'efficacité du tube augmente. Le rendement augmente très faiblement à partir d'un rapport de 8. Pour un tube de 12 m, avec une vitesse de 1,6 m/s, le rendement est de :

- 0,9 kg d'oxygène au kWh pour $\frac{A}{E} = 4\%$;
- 1,7 kg d'oxygène au kWh pour $\frac{A}{E} = 8\%$;
- 1,8 kg d'oxygène au kWh pour $\frac{A}{E} = 12\%$.

1 - 2 - 5 - Autres facteurs

Profondeur d'injection : l'injection de l'air doit être faite à quelques centimètres sous la surface. L'injection en profondeur diminue les rendements.

Remarque : l'injection en profondeur diminue la perte de charge par passage des bulles dans la branche ascendante et effet « air lift », mais le temps de contact plus court entraîne une perte d'efficacité.

Oxygène pur : en utilisant de l'oxygène pur, on multiplie le coefficient de transfert par 5.

Turbulence : la turbulence au fond du tube et la taille initiale des bulles ne semblent pas avoir d'influence sur les performances (ces problèmes sont à étudier).

Azote : aucune sursaturation en azote n'a été observée.

1 - 2 - 6 - Réalisation d'un tube en U

La multiplicité des facteurs en cause ne permet pas de détailler ici tous les cas possibles. Toutefois, pour de petits débits (quelques centaines de m³/h), on peut réaliser des tubes en U très économiques à partir de deux tubes ou buses concentriques, le tuyau central recevant l'eau à aérer, le tuyau périphérique l'eau aérée à évacuer (figure 5).

Les formules approchées suivantes peuvent alors être utilisées :

- diamètre du tuyau intérieur $D = \sqrt{Q}$;
- Q : débit à traiter en m^3/s ;
- D : diamètre intérieur en m ;
- diamètre du tuyau extérieur : $1,7 D$;
- profondeur : plus de 3 m, cote prise entre le plan d'eau dans le tuyau de descente et le fond du tube en U ;
- injection d'air : on peut :
 - soit utiliser une dénivellation existante pour cascader à l'entrée du tube central ;
 - soit créer cette cascade par pompage ;
 - soit envoyer de l'air à l'aide d'un surpresseur à l'entrée du tube en se conformant aux données précédentes.

Une cascade de 1 m au-dessus du plan d'eau du tube central donne une insufflation d'air en excès dans la plupart des cas (une étude précise permet de réduire ce relevage s'il s'agit de gros débit).

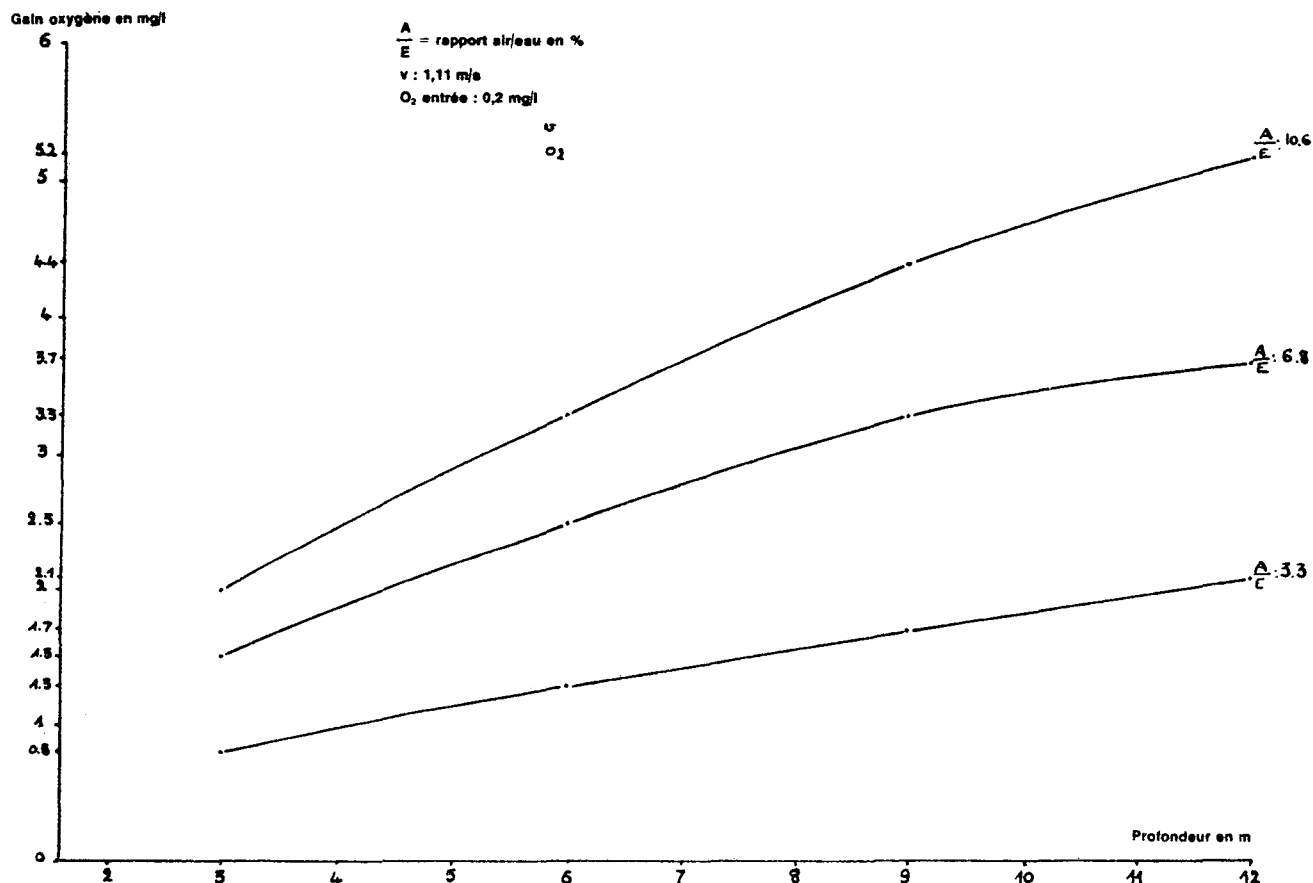
Exemple : un tube en U débitant $1400 m^3/h$ avec $h = 4 m$, cascade d'entrée 1 m, vitesse 1 m/s, avait un coefficient de transfert de 0,88 (une eau à 5,5 mg/l à 15 °C ressortait à 9,3 mg/l).

— *perte de charge à prévoir* : la perte de charge du système augmente avec le débit d'air et la profondeur. Elle varie de 30 à 80 cm pour les systèmes utilisant des injections d'air à l'entrée du tube de descente (cascade ou bullage).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) - CHESNESS (J.L.), STEPHENS (J.L.), HILL (T.K.), 1972. *Gravity flow aerators for raceway fish culture systems*. Univ. Georgia Coll. Agric. Exp. Stru. Res., 137, 5-21.
- (2) - C. T. G. R. E. F., *Note sur les performances des dispositifs d'oxygénation*. Note technique de mai 1974.
- (3) - KNOSCHE (R.), ROICKE (K.P.), 1972. *Belüftung von Fischwasser mittels Rohrgitterkaskaden*. Z. Binnenfisch. 19 (10), 315-321.
- (4) - LIAO (P.B.), 1971. *Water requirements of salmonids*. Prog. Fish. Cult., 33 (4), 210-215.
- (5) - SPEECE (R.E.), ADAMS (J.L.), *U-tube oxygenation operating characteristics*. Proc. of Twenty-third Purdue Industrial waste conference. May 1968.
- (6) - WATER POLLUTION RESEARCH LABORATORY. *Notes on water pollution*, n° 61, june 1973.

Fig. 11. — Efficacité du tube en « U » en fonction de la profondeur.



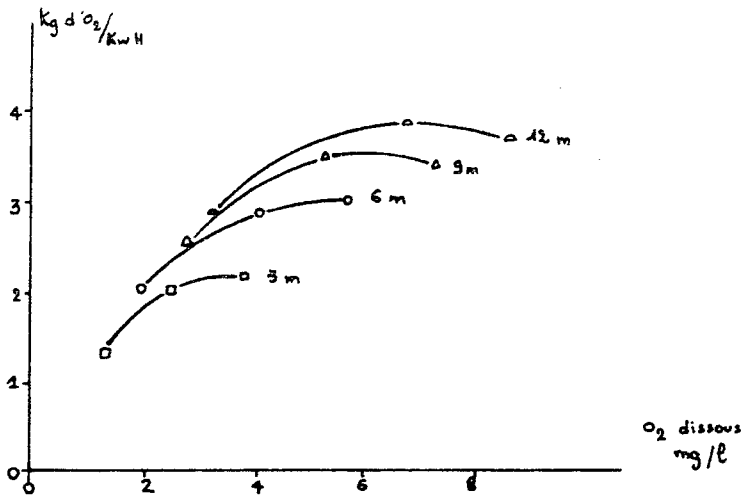


Fig. 12. — Rendement d'un tube en « U » en fonction de différentes profondeurs (concentration d'entrée : 0,2 mg/l), v : 1,7 m/s. SPEECE.

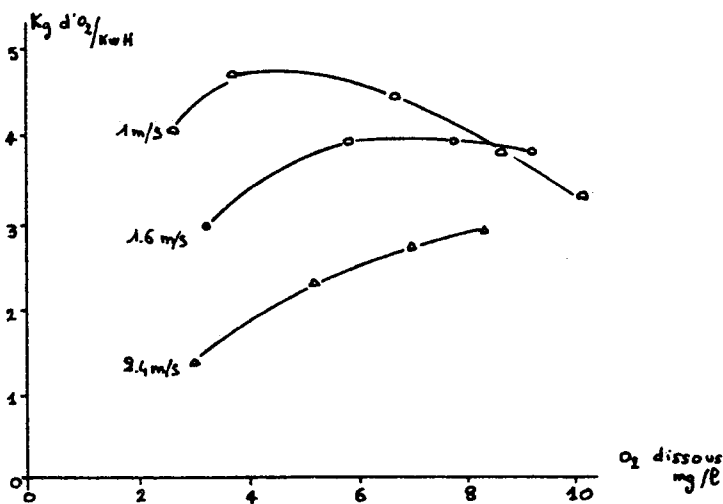


Fig. 13. — Rendement d'un tube en « U » à différentes vitesses de l'eau (concentration d'entrée : 0,2 mg/l), P : 12 m. SPEECE.

FORMULES UTILISÉES

$$1. - C_s = \frac{475}{33,5 + \Theta} \quad (\text{GAMESON et ROBERTSON}).$$

C_s : concentration en oxygène dissous à saturation en g/m^3 .

Θ : température.

$$2. - K = 1 - \frac{1}{1 + 0,69 h (1 - 0,11 h) (1 + 0,046\Theta)}$$

K : coefficient de transfert d'une chute d'eau.

h : hauteur de la chute en m.

Θ : température en $^{\circ}\text{C}$.

$$3. - \frac{dC}{dt} = K (C_s - C).$$

dC : variation de la teneur en O_2 en g/m^3 .

dt : temps en heure.

C_s : g/m^3 d' O_2 à saturation.

C : g/m^3 d' O_2 de l'eau entrant dans le dispositif d'aération.

$$4. - p = \frac{K.C_s.Q}{P}$$

p : apport spécifique brut en $\text{kg d'O}_2/\text{kWh}$.

Q : volume traité en m^3 par heure.

P : puissance absorbée en kWh.

K et C_s : voir ci-dessus.

$$5. - P = \frac{1}{360} \times \frac{Q.h}{R}$$

P : puissance de pompage en kWh.

Q : débit pompé en m^3/H .

h : hauteur manométrique en m.

R : rendement.

$$6. - CO = K (C_s - C). Q.$$

CO : capacité d'oxygénation.

C : concentration de l'eau à l'entrée (capacité d'oxygénation brute, $C = 0$).

Q : volume traité en m^3 par heure.

K et C_s : voir ci-dessus.

ERRATUM

Dans la première partie, le **recyclage** des problèmes de l'eau (**la pisciculture française** n° 42, pages 18 à 23), une erreur s'est glissée en page 19, 1^{re} colonne, quatre dernières lignes.

Il convient de lire :

— **DBO** = 12 mg/l (au lieu de 120) ;

— **DCO** = 30 mg/l (au lieu de 300).

Avec toutes nos excuses à nos lecteurs, qui auront bien sûr rectifié d'eux-mêmes.