

Fiche technique n°3 : Installation d'un moine hydraulique sur un plan d'eau existant

• AUTEURS

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ, DIRECTION RÉGIONALE BRETAGNE
LE BIHAN M., HUBERT A., ANQUETIL H.

• CONTRIBUTEURS

Dominique COURRET, Pole écohydraulique de l'OFB
Claire MAGAND, Direction de la recherche et de l'appui scientifique de l'OFB
Hélène VIDEAU & Sandrine BOULIGAND, Direction Régionale Pays de la Loire de l'OFB

• RÉSUMÉ

L'objectif de cette fiche est de récapituler l'ensemble des recommandations techniques à respecter pour l'installation d'un moine hydraulique sur un plan d'eau.

Cette fiche technique n°3 vient en complément de deux autres fiches techniques dédiées aux plans d'eau :

- Fiche technique n°1 : La suppression d'un plan d'eau
- Fiche technique n°2 : Réalisation d'une dérivation d'un plan d'eau en barrage sur un cours d'eau

La pose de moine hydraulique constitue une mesure de réduction des impacts des plans implantés en barrage sur cours d'eau.

Cette fiche étant de portée générale, elle n'a pas vocation à lister avec exhaustivité l'ensemble des cas particuliers techniques et réglementaires, qui seront soumis à l'appréciation des services instructeurs des DDT(M). Elle n'est pas exhaustive et est amenée à être complétée et amendée.

• MOTS CLÉS

Plan d'eau
Etang
Moine hydraulique
Impacts environnementaux
Vidange

Droits d'usage : libre

Niveau géographique : régional

Couverture géographique : Bretagne, Pays de la Loire

Niveau de lecture : professionnels

Version : mars 2025

I. Introduction

Historiquement, et pour assurer différentes fonctions (irrigation, pêche de loisir, pisciculture, moulins, etc.), de nombreux plans d'eau ont été artificiellement établis. Au cours des dernières décennies, une augmentation rapide du nombre de plans d'eau a été observée et notamment au cours des années 1960-1980 pour répondre surtout à des activités de loisirs, mais aussi d'irrigation (Boutet-berry, 2000). La nature et l'importance des impacts générés par les plans d'eau sur les écosystèmes aquatiques dépendent de plusieurs facteurs tels que l'implantation par rapport au cours d'eau (en barrage, en dérivation, sur source ou nappe), la surface d'eau libre (Durllet P. coord., 2009) ou encore la gestion (Boutet-Berry, 2000).

Pour limiter les impacts des plans d'eau artificiels, la direction régionale Bretagne de l'OFB a rédigé plusieurs fiches techniques complémentaires (Fiche n°1 : Suppression d'un plan d'eau, Fiche n°2 : Réalisation d'une dérivation d'un plan d'eau en barrage sur un cours d'eau, Fiche n°3 : Installation d'un moine hydraulique sur un plan d'eau existant).

Le présent document constitue la Fiche n°3 : Installation d'un moine hydraulique sur un plan d'eau existant. Ces fiches viennent compléter les éléments disponibles concernant les plans d'eau dans le référentiel technique « PAT-Biodiv »¹.

II. Le moine hydraulique

a. Définition et principes de fonctionnement

Un moine est un « ouvrage de restitution de l'eau » permettant de réguler le niveau d'évacuation des eaux du plan d'eau, en prélevant les eaux en profondeur. Selon leurs caractéristiques, certains moines permettent également de contrôler la vitesse de la vidange mais il y a parfois un organe (une vanne de fond) dédiée à cette fonction. Il est généralement constitué d'un rideau de planches en bois amovibles (Figure 1).

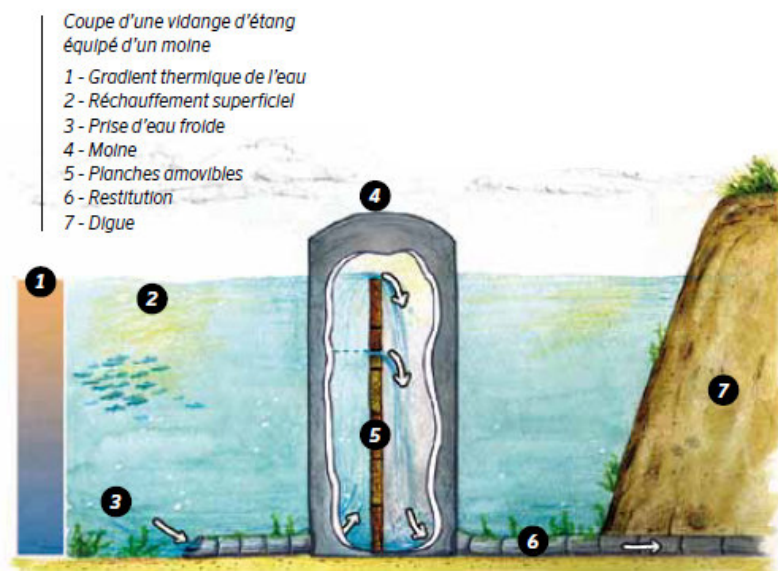


Figure 1 : Représentation schématique d'un moine hydraulique dans un plan d'eau (Galmiche et al., 2017).

¹ <https://patbiodiv.ofb.fr> (partie « Plan d'eau sur cours d'eau »)

Le moine hydraulique a été conçu au Moyen-âge par les moines cisterciens et constitue actuellement le système de restitution de l'eau le plus courant (SMARL & SINBIO, 2011 ; Beck, 1996 ; Berthier *et al.*, 1998).

Le principe d'un moine hydraulique est le suivant (**Figure 2**) :

- l'eau du plan d'eau entre dans le moine hydraulique par une prise d'eau « froide » située au fond du plan d'eau ;
- le niveau d'eau en amont du rideau de planches s'équilibre avec le niveau du plan d'eau ;
- si la cote du plan d'eau est supérieure à la cote du haut du rideau de planches amovibles, l'eau s'écoule en surverse. L'aménagement d'orifices correctement dimensionnés dans une des planches amovibles permet de respecter le débit minimum biologique.

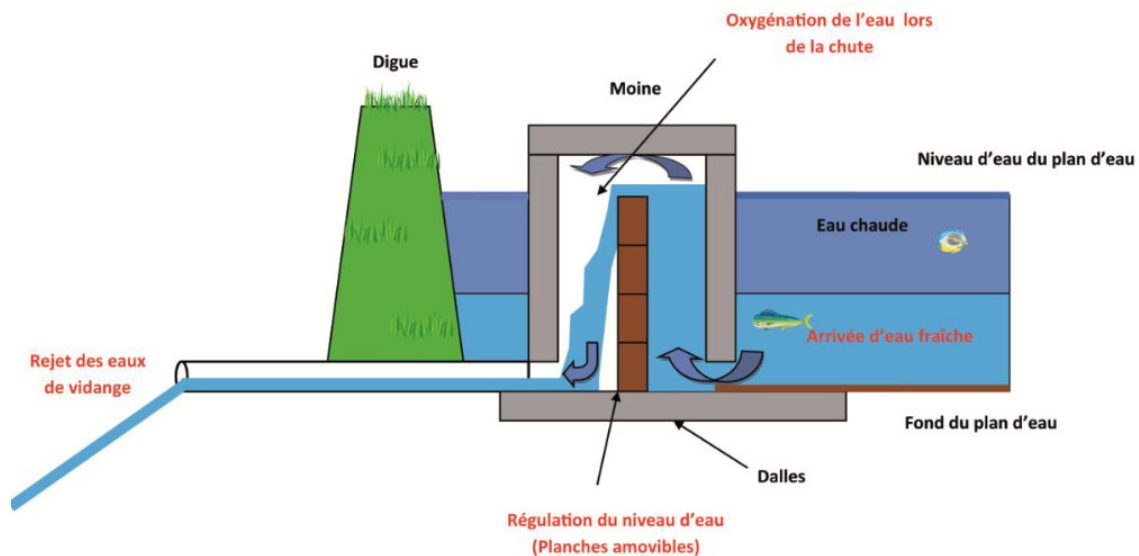


Figure 2 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un moine hydraulique (IIBS ; CLE du SAGE Sarthe Amont, 2016).

Les eaux de surverse sont évacuées par une buse disposée au fond du moine, l'eau transite généralement sous la digue avant de rejoindre le cours d'eau en aval (**Figure 3**).



Figure 3 : Buse de restitution des eaux en aval du moine (© HUBERT & LE BIHAN, OFB, 2024 ; Forêt de Lanouée, 56).

b. Objectifs

L'installation d'un moine sur un plan d'eau en barrage peut répondre à trois objectifs :

- Réduire l'impact thermique du plan d'eau ;
- Garantir un débit « minimal » dans le cours d'eau en aval ;
- Réduire les impacts environnementaux associés aux vidanges de plan d'eau.

Réduire l'impact thermique :

En climat tempéré, lors des périodes chaudes, une stratification thermique se met en place sur les plans d'eau avec une profondeur d'eau supérieure à 1,5 à 2 m. L'eau chaude, plus légère, se situe en surface et l'eau froide au fond. Les variations jour-nuit (dites « nyctémérales ») de la température extérieure se font ressentir sur les centimètres superficiels du plan d'eau. C'est cette eau qui est classiquement restituée au cours d'eau par les surverses du plan d'eau. La prise de fond du moine permet de restituer une eau plus fraîche et présentant des variations de température plus limitée (Galmiche *et al.*, 2017).

Garantir un débit « minimal » dans le cours d'eau (pour les plans d'eau implantés en barrage sur les cours d'eau²) :

La réalisation d'un orifice de dimension adaptée au sein d'une planche du moine (cf. partie III) permet de garantir la restitution d'un débit réservé à l'aval du plan d'eau, même lorsque la baisse du niveau d'eau du plan d'eau désactive la surverse du moine.

L'article L.214-18 du Code de l'Environnement dispose que :

Paragraphe 1 : « Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit **un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux** au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage de restitution correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. [...] »

La circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de cet article L. 214-18 du Code de l'environnement précise cette notion de **débit « suffisant »** au moyen des définitions suivantes :

- **Le débit minimum biologique à l'échelle d'un ouvrage** (Baran *et al.*, 2015 ; OFB *et al.*, 2025) :

Ce terme est consacré par l'usage et correspond à la notion définie par le premier paragraphe du I de l'article L.214-18 du Code de l'environnement : « débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux ». **La détermination de ce débit minimum biologique doit faire l'objet d'une étude particulière** analysant les incidences d'une réduction des valeurs de débit à l'aval de l'ouvrage sur les espèces vivant dans les eaux à toute période de l'année.

² Dans le cas de plan d'eau en dérivation, le débit réservé est à traiter au niveau de l'ouvrage de prélèvement.

Les méthodes d'aide à la détermination de débits minimum dans les cours d'eau [...] peuvent être classés en 3 grandes catégories :

- « hydrologiques » basées uniquement sur l'analyse des chroniques de débits ;
- « hydrauliques » basées sur la relation entre les paramètres hydrauliques, la morphologie du cours d'eau et la valeur de débit minimum ;
- « d'habitat » qui croisent l'évolution des caractéristiques hydrauliques avec les préférences biologiques des espèces.

Ces trois méthodes ne s'excluent pas mutuellement et peuvent être utilisées en combinaison. Les débits minimums biologiques peuvent varier en fonction des saisons, selon les besoins des organismes aquatiques.

- **Le débit plancher à l'aval de l'ouvrage :**

Le débit plancher est défini dans la seconde partie du paragraphe I de l'article L.214-18 du Code de l'environnement. Il correspond à un **minimum intangible servant de protection pour les milieux aquatiques**. Il est exprimé **en fraction de débit moyen interannuel naturel (module)** et correspond au 10^{ème} ou 20^{ème} de celui-ci suivant les cas.

- **Le débit réservé :**

Cette notion de « débit réservé » est consacrée elle-aussi par l'usage et est souvent utilisée dans les titres régissant les ouvrages. Cette dernière a une portée législative et réglementaire et désigne la valeur du débit telle qu'elle est **fixée par le titre de l'ouvrage**, en application a minima du I de l'article L.214-18 du Code de l'environnement ou des textes qui l'ont précédé, et donc la valeur du **débit instantané** qu'un ouvrage établi dans le lit d'un cours d'eau doit laisser transiter à son aval immédiat.

Pour constituer un débit « suffisant », cette valeur de débit réservé doit correspondre à la plus forte valeur entre le débit minimum biologique et le débit plancher. La valeur de débit réservé peut varier en fonction des périodes de l'année.

Réduire les impacts environnementaux des vidanges de plan d'eau :

L'article 9 de l'Arrêté du 9 juin 2021 fixant les prescriptions techniques générales applicables aux plans d'eau relevant de la rubrique 3.2.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement, y compris en ce qui concerne les modalités de vidange, indique que : « tout plan d'eau qui restitue de l'eau à l'aval dans un cours d'eau hors surverse, à l'exception des plans d'eau alimentés par des nappes ou par ruissellements et des plans d'eau situés en lit mineur, est équipé de **dispositifs permettant que les eaux restituées au cours d'eau le soient dans des conditions de qualité et de température proches de celles du cours d'eau naturel.** Les systèmes de type moine, dérivation souterraine ou siphon **sont réputés répondre à cet objectif.** La différence de qualité et de température entre, d'une part, les eaux du cours d'eau à l'amont du point de rejet et, d'autre part, les eaux du cours d'eau à l'aval du point de rejet ne peut excéder pendant la période du 15 juin au 15 octobre :

- **1°C pour la température ;**
- **1 mg/l pour la quantité d'oxygène dissous. »**

La présence d'un moine hydraulique permet de réaliser la vidange du plan d'eau progressivement, en retirant successivement les planches amovibles. Le départ de Matières En Suspension (MES), très impactantes pour les cours d'eau situés en aval (Gayraud *et al.*, 2002 ; Mac Donald *et al.*, 2018), peut ainsi être limité durant une partie de la vidange. Le départ brusque de MES peut survenir lorsque les planches à retirer sont situées à une cote similaire à celle des sédiments fins stockés dans le plan d'eau

(cote dépendante du niveau de remplissage du plan d'eau par les sédiments fins). Les bonnes pratiques pour réduire les impacts environnementaux associés aux vidanges de plans d'eau sont synthétisés dans la Fiche N°1 intitulée « La suppression de plan d'eau » (Le Bihan & Hubert, 2023).

c. Effet des moines hydrauliques pour réduire l'impact thermique des plans d'eau

La profondeur de la colonne d'eau du plan d'eau permet ou non l'existence d'une stratification thermique au sein du plan d'eau (Ecosphère & Hydrosphère, 2001). Pour les plans d'eau présentant une profondeur de plus de 1,5 à 2 m, des gradients thermiques apparaissent (Gonay & Lafforgue, 1997 ; In Trintignac, 2004) (**Figure 4**). L'eau du fond du plan d'eau est plus froide qu'en surface (Cadieu G. & Jouan Y., 2002 ; in Trintignac, 2004) ; mais reste plus chaude que celle des cours d'eau en amont.

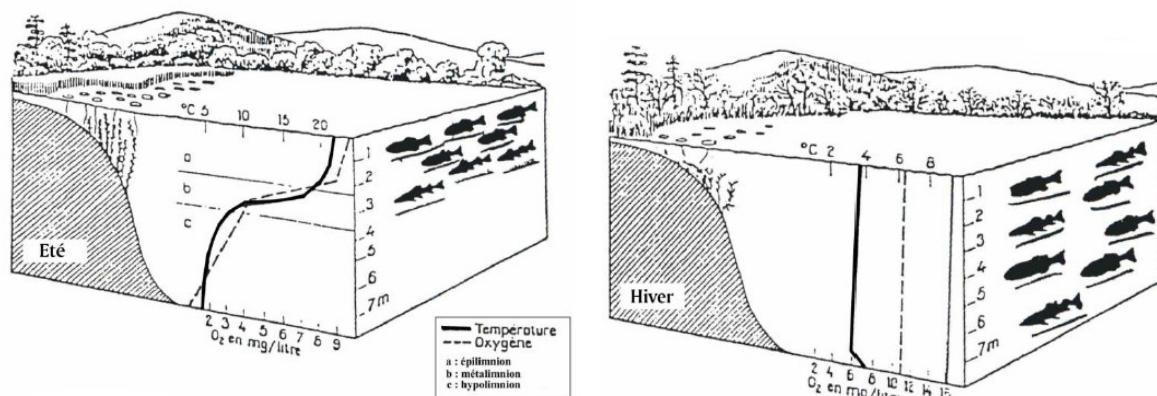


Figure 4 : Stratification thermique annuelle au sein d'un plan d'eau (Ecosphère & Hydrosphère, 2001).

De ce fait, les plans d'eau de faibles profondeurs (inférieures à 1,5 à 2 m) augmentent inévitablement la température estivale des eaux du cours d'eau en aval. Concernant les plans d'eau plus profonds, l'intensité de l'impact thermique dépend du mode de restitution des eaux (Ecosphère & Hydrosphère, 2001).

Dans les plans d'eau non équipés de moine hydraulique, la restitution des eaux de surface des plans d'eau tend à augmenter la température du cours d'eau en aval, notamment lors de la période estivale (Sinokrot *et al.*, 1995 ; Maxted *et al.*, 2005 ; Bae *et al.*, 2016 ; Maheu *et al.*, 2016b ; Chandesris *et al.*, 2019). La plus forte augmentation de la température des cours d'eau se produit en effet durant les périodes d'étiage (Webb, 1996). Par ailleurs, les plans d'eau augmentent non seulement la température moyenne du cours d'eau, mais également sa plage diurne ainsi que la fréquence et la durée des températures anormalement élevées (Maheu *et al.*, 2016a, 2016b ; Chandesris *et al.*, 2019). L'augmentation de la température dans les cours d'eau en aval des plans d'eau est faiblement atténuée par les processus naturels (ombrage, échange au sein de la zone hyporhéique, etc.), ce qui ne conduit à un retour aux températures de référence qu'à une grande distance en aval (Boon & Shires, 1976 ; Fraley, 1979 ; Maxted *et al.*, 2005 ; Dripps & Granger, 2013 ; in Seyedhashemi *et al.*, 2021).

Des études réalisées dans diverses régions françaises, sur des étangs à déversoir de surface, révèlent des réchauffements estivaux de 2 à 7 °C entre l'entrée et la sortie immédiate du plan d'eau (Mouillé, 1982, Busnel, 1985 ; Balabanian & Bouet, 1989 ; Le Louarn & Bertrut, 1991 ; Boutet-Berry, 2000 ; Trintignac & Kerléo, 2004).

Pour les plans d'eau présentant une stratification thermique, l'équipement d'un moine hydraulique permet de réduire le réchauffement des eaux vers l'aval ; notamment au printemps et en été. Il permet d'abaisser les températures maximales et de diminuer les pics brutaux d'élévation thermique. A la sortie du moine, les réchauffements les plus importants sont mesurés le matin, au moment où le

cours d'eau est le plus froid, pourtant les températures de l'eau sont généralement maximales en fin d'après-midi en aval des déversoirs (lorsque l'échauffement de la surface du plan d'eau est le plus fort).

En aval des plans d'eau équipés de moine hydraulique ou « à prise de fond », les écarts de température sont plus faibles, ne dépassant pas 3 °C de réchauffement dans la bibliographie (Cadieu, 2002 ; Trintignac & Kerléo, 2004 ; in Touchart, 2007). Pour des plans d'eau présentant des superficies de 1,6 à 102 ha et des profondeurs maximales entre 1,5 à 6 m, le réchauffement à la sortie d'un déversoir est de 2°C en moyenne annuelle et 4°C en été, il est de respectivement 1°C et 3°C en aval d'un moine (Touchart, 2007). Une augmentation de la température des eaux de 1°C reste très significative, au regard de l'augmentation de la température des eaux de 1,6°C évaluée à l'échelle nationale au cours du XX^{ème} siècle (Baptist *et al.*, 2014). Selon Touchart (1999), **les étangs ayant un moine à 5 ou 6 mètres de profondeur augmentent l'amplitude thermique annuelle du cours d'eau aval de 25 à 30 % ; alors que les étangs à déversoir de surface l'augmentent de 80 à 90 %.**

Les plans d'eau avec une profondeur d'eau importante (supérieure à 1,5 à 2 m) présentent en été une stratification thermique qui provoque l'anoxie des eaux au fond de l'étang. Par conséquent, la restitution des eaux de fond peut engendrer une désoxygénation des eaux en aval (Ecosphère & Hydrophère, 2001). La chute d'eau au sein du moine contribue à initier le début de réoxygénation des eaux issues du fond du plan d'eau présentant de faibles teneurs en dioxygène dissous (Ecosphère & Hydrophère, 2001).

La mise en place d'un moine peut ainsi constituer une mesure d'atténuation de l'impact d'un plan d'eau sur la thermie du cours d'eau à l'aval, cette efficacité est partielle. Dans la mesure du possible, il demeurera préférable de supprimer ou de mettre en dérivation le plan d'eau.

d. Positionnement du moine

Le moine peut être implanté dans le plan d'eau (cas le plus fréquent), dans la digue ou à l'aval immédiat de celle-ci (Figure 5).

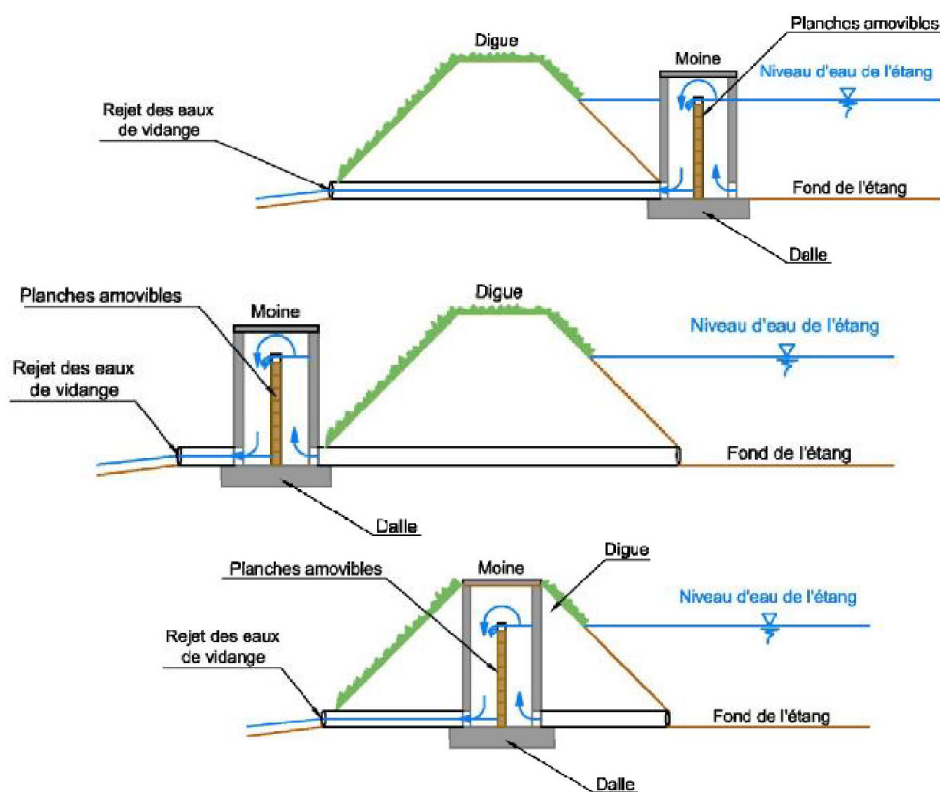


Figure 5 : a) Moine dans le plan d'eau ; b) moine en aval du plan d'eau ; c) moine dans la digue (SMARL & SINBIO, 2011).

e. Installation

L'installation d'un moine hydraulique (**Figure 6**) nécessite au préalable de réaliser une vidange du plan d'eau dans les conditions fixées par l'Arrêté du 9 juin 2021 fixant les prescriptions techniques générales applicables aux plans d'eau relevant de la rubrique 3.2.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement. **La mise en place du moine doit être réalisée en phase d'assec du plan d'eau afin de prévenir tout risque de pollution (laitance de béton, huile, etc.).**



Figure 6 : Plan d'eau en cours de remplissage suite à l'installation de moines sur des plans d'eau préexistants (© HUBERT & LE BIHAN, OFB, 2024 ; Forêt de Lanouée, 56).

Le calage du rideau de planches doit permettre de désamorcer le trop plein du moine en période chaude. Celle-ci n'a plus qu'un rôle de sécurité en période de hautes eaux. Afin de garantir un débit suffisant à l'aval du plan d'eau, il est utile de percer l'une des planches, à une hauteur à définir, qui garantira un écoulement minimum vers le cours d'eau en aval, même si la surverse du moine n'est plus active de par la baisse du niveau d'eau. Le diamètre de ce trou est fonction du débit réservé souhaité (Galmiche *et al.*, 2017).

L'accès à l'intérieur du moine hydraulique doit être sécurisé et facilité par la présence d'une échelle fixe (**Figure 7**).



Figure 7 : a) vue du dessus d'un moine hydraulique ; b) vue de l'intérieur du moine (© HUBERT & LE BIHAN, OFB, 2024 ; Forêt de Lanouée, 56).

f. Coût d'installation

A titre d'exemple, les 5 moines installés en 2023 en forêt de Lanouée dans le Morbihan présentaient un coût individuel (fourniture + pose) d'environ 12 000 à 14 000 euros TTC, pour des hauteurs variant de 2,5 à 4,5 mètres.

A ce coût s'ajoutent la mise en place et le repli du chantier, la vidange du plan d'eau, la pêche de sauvegarde, la destruction et l'évacuation des ouvrages existants, le remplacement éventuel de la conduite sous digue, etc. **Ainsi, le coût total de la phase chantier pour la mise en place d'un moine hydraulique peut s'élever à 50 000 euros TTC** (prix moyens observés sur plusieurs projets en Bretagne en 2023-2024).

Par ailleurs, il ne faut pas éluder le prix et/ou le temps à dédier pour la maîtrise d'œuvre du projet, comprenant l'étude avant-projet, le montage et le suivi du dossier administratif, la consultation d'entreprises, le suivi et la réception des travaux, etc.

III. Dimensionnement du ou des orifices pour respecter le débit réservé

Un orifice est une ouverture de forme régulière dans l'une des parois d'un réservoir, à travers laquelle s'écoule l'eau ; l'ouverture doit être complètement submergée à l'amont. La formule proposée pour dimensionner le débit peut être utilisée pour différentes formes d'orifices (circulaire, carrée, rectangulaire, etc.) (Le Coz *et al.*, 2011 ; Baril *et al.*, 2014). Les orifices mis en place dans les planches d'un moine sont généralement circulaires (**Figure 8**).



Figure 8 : Vue d'un orifice circulaire au sein d'un moine de plan d'eau, en cours de remplissage
(© Hubert, OFB ; Forêt de Lanouée, 56).

Un orifice peut être dénoyé ou noyé par l'aval (Baril *et al.*, 2014). Dans le cas des moines, l'orifice est dénoyé par l'aval et le rideau de planche constitue une paroi mince.

La formule pour calculer le débit transitant dans un trou d'une planche d'un moine est la suivante (Le Coz *et al.*, 2011 ; Baril *et al.*, 2014) (**Figure 9**) :

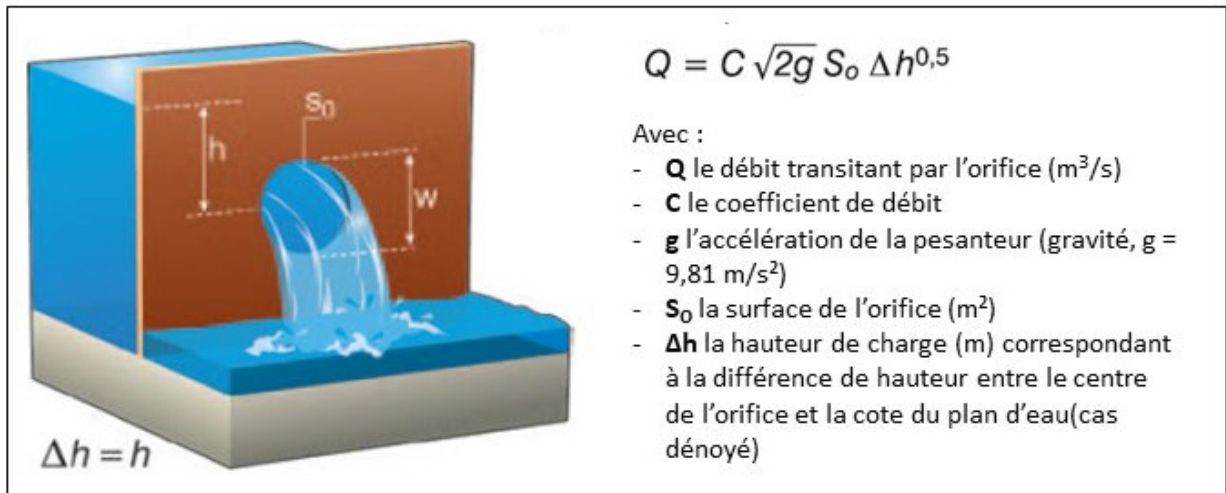


Figure 9 : Formule de calcul du débit pour les orifices en paroi mince dénoyés par l'aval
(Le Coz et al., 2011 ; Baril et al., 2014)

« C » est un coefficient qui dépend de la contraction de la veine liquide. Dans le cas d'un orifice créé dans un moine (orifice à arêtes vives), **l'orifice est considéré comme complètement contracté³ et sa valeur est égale à 0,6** (Le Coz et al., 2011 ; Baril et al., 2014).

Exemples :

- Un orifice circulaire de 10 cm de diamètre, dont le centre est positionné 50 centimètres en dessous de la cote du plan d'eau, laissera transiter un débit de 15 l/s

$$Q = 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot (\pi \cdot 0,05^2) \cdot 0,50^{0,5} = 0,015 \text{ soit } 15 \text{ L/s}$$

- Le même orifice de 10 cm dont le centre est placé à une profondeur d'un mètre en dessous de la cote du plan d'eau, laissera transiter un débit de 21 l/s.

$$Q = 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot (\pi \cdot 0,05^2) \cdot 1^{0,5} = 0,021 \text{ soit } 21 \text{ L/s}$$

Par conséquent, la formule pour calculer le diamètre du trou nécessaire pour faire transiter un débit donné est (Galmiche et al., 2017) :

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}}$$

Avec :

- **D** le diamètre du trou (m)
- **Q** le débit transitant par l'orifice (m³/s)
- **C** le coefficient de débit (**pour un moine : 0,60**)
- **G** l'accélération de la pesanteur (gravité ; $g=9,81 \text{ m/s}^2$)
- **Δh** la hauteur de charge (m) correspondant à la différence de hauteur entre le centre de l'orifice et la cote du plan d'eau (cas dénoyé)

En cas de débit réservé important à restituer en aval du plan d'eau et pour garantir la solidité des planches, il peut être nécessaire de multiplier les trous. Les calculs doivent être réalisés pour chaque orifice. Cependant, en termes d'entretien, il est préférable d'avoir de grands orifices présentant une moindre probabilité de colmatage et d'obstructions par les végétaux (Baril et al., 2014).

³ Un orifice est « complètement contracté » si son contour est entièrement en arête vive et s'il est suffisamment éloigné du lit et des parois latérales du chenal d'approche et de sortie. La distance du bord de l'orifice au lit et aux parois latérales ne doit pas être inférieure au rayon de l'orifice si celui-ci est circulaire et à deux fois la plus petite dimension si celui-ci a une autre forme (par exemple deux fois la largeur pour un orifice rectangulaire) (Le Coz et al., 2011).

A titre d'exemple, la surface d'un orifice de 10 cm de diamètre restitue le même débit que deux orifices de 7,1 cm (Galmiche *et al.*, 2017).

Exemples :

- Si on place le centre de l'orifice à une hauteur d'un mètre sous la cote du plan d'eau, et que l'on souhaite obtenir un débit réservé de 4,7 l/s, alors le diamètre de l'orifice devra être égal à 4,7 cm.

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,0047) / (\pi \cdot 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1})} = 0,04745 \text{ m soit } 4,7 \text{ cm}$$

- Si on place le centre de l'orifice à une hauteur d'un mètre sous la cote de plan d'eau, et que l'on souhaite obtenir un débit de 47 l/s, alors le diamètre de l'orifice devra mesurer 15 cm.

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,047) / (\pi \cdot 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1})} = 0,1500 \text{ m soit } 15 \text{ cm}$$

La hauteur de la colonne d'eau au-dessus de l'orifice étant une variable de la formule du calcul du débit, il convient de retenir une profondeur permettant de restituer le débit réservé en période d'étiage, c'est-à-dire la hauteur du plan d'eau à l'étiage. Il est également recommandé d'éloigner l'orifice du fond du plan d'eau afin de limiter les risques d'obstructions par les sédiments (Baril *et al.*, 2014). Dans les cas où un plan d'eau est classé en réserve d'eau incendie, il convient de vérifier que la capacité du plan d'eau en période d'étiage est compatible avec les règles du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS).

Pour rappel, la mise en place d'un moine permet de réduire partiellement les impacts environnementaux des plans d'eau. La solution technique pour réduire les impacts doit être étudiée au cas par cas en mobilisant les trois fiches techniques dédiées à ce sujet (Fiche n°1 : Suppression d'un plan d'eau, Fiche n°2 : Réalisation d'une dérivation d'un plan d'eau en barrage sur un cours d'eau, Fiche n°3 : Installation d'un moine hydraulique sur un plan d'eau existant). Ces fiches viennent compléter les éléments disponibles concernant les plans d'eau implantés sur cours d'eau dans le référentiel technique « PAT-Biodiv ».

BIBLIOGRAPHIE

- ANQUETIL H., HUBERT A., LEDOUBLE O., LE BIHAN M., 2023.** Fiche technique n°2 : La réalisation d'une dérivation d'un plan d'eau en barrage sur un cours d'eau. Note de la Direction Bretagne de l'Office Français de la Biodiversité. 9 pages.
- Arrêté du 9 juin 2021** fixant les prescriptions techniques générales applicables aux plans d'eau, y compris en ce qui concerne les modalités de vidange, relevant de la rubrique 3.2.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R.214-1 du Code de l'Environnement. PG du 9 Juin 2021.
- BAE M.J., MERCIAI R., BENEJAM L., SABATER S., GARCIA-BERTHOU E., 2016.** Small weirs, big effects : disruption of water temperature regimes with hydrological alteration in a Mediterranean stream. *River Res. Appl.* 32 (3), 309–319.
- BALABANIAN O., BOUET G., 1989.** L'eau et la maîtrise de l'eau en Limousin. Treignac, Les Monédières, 301 p.
- BARAN P., LONGUEVERGNE L., OMBREDANE D., DUFOUR S. & DUPONT N., 2015.** Débit Minimum Biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau. Comment définir une gestion quantitative équilibrée de la ressource en eau dans les bassins bretons en intégrant la préservation des milieux aquatiques et la vie piscicole ? Guide version 0 / novembre 2015. 124 pages. Disponible sur : <https://www.creseb.fr/debit-minimum-biologique-gestion-quantitative-ressource-en-eau-guide-creseb/>
- BARIL D., COURRET D. & FAURE B., 2014.** Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal. Note de l'ONEMA. 23 pages.
- BAPTIST F., POULET N. & SEON-MASSIN N., 2014.** Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation. Onema. Collection Comprendre pour agir. 128 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/poissons-deau-douce-lheure-changement-climatique-etat-lieux-pistes-ladaptation>.
- BECK, 1996.** L'innovation technique au Moyen Âge. Actes du VIe Congrès international d'Archéologie Médiévale (1-5 Octobre 1996, Dijon - Mont Beuvray - Chenôve - Le Creusot - Montbard) Caen : Société d'Archéologie Médiévale, 1998. 320 p. (*Actes des congrès de la Société d'archéologie médiévale*, 6.
- BERTHIER K., ROUILLARD J., 1998.** Nouvelles recherches sur l'hydraulique cistercienne en Bourgogne, Champagne et Franche-Comté. In *Archéologie médiévale*, tome 28. pp. 121-147.
- BOON P.J. & SHIRES S.W., 1976.** Temperature studies on a river system in north-east England. *Freshw. Biol.* 6 (1), 23–32.
- BOUTET-BERRY L., 2000.** La problématique plan d'eau. Conseil Supérieur de la Pêche, Délégation régionale Centre, Pays de Loire, Poitou-Charentes. 36 p.
- BUSNEL L., 1985.** Étangs anciens et plans d'eau contemporains en Indre-et-Loire. Univ. Tours, thèse de doctorat de 3^{ème} cycle en géographie. 389 p.
- CADIEU G. & JOUAN Y., 2002.** Impacts des étangs piscicoles pisciculture extensive. FLAC/FAC. 8 pages.
- CADIEU G., 2002.** Budget en eau des étangs piscicoles du Jura, étude quantitative, qualitative et impact sur l'environnement. Besançon, Conseil Régional de Franche-Comté, Syndicat Régional des Exploitants d'étangs de Franche-Comté et de Bourgogne, 157 p.
- CHANDESRISS A., VAN LOOY K., DIAMOND J.S., SOUCHON Y., 2019.** Small dams alter thermal regimes of downstream water. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23, 4509-4525.
- DRIPPS W., GRANGER S.R., 2013.** The impact of artificially impounded, residential headwater lakes on downstream water temperature. *Environ. Earth Sci.* 68 (8), 2399–2407.
- CLE DU SAGE SARTHE AMONT, 2016.** Guide plan d'eau. Disponible sur : <https://www.gesteau.fr/document/guide-plan-deau>
- ECOSPHERE, HYDROSPHERE, 2001.** Impact des plans d'eau sur les rivières et les écosystèmes, DREAL Champagne-Ardenne. 127 pages.
- FRALEY J.J., 1979.** Effects of elevated stream temperatures below a shallow reservoir on a cold water macroinvertebrate fauna. *The Ecology of Regulated Streams*. Springer, Boston, MA, pp. 257–272.
- GALMICHE N. COORD., 2017.** Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux et de la continuité écologique. PNRM / PNRBV / ONF / ADAPEMONT / PNRHJ. LIFE10 NAT/FR/192. 116 pages.

GAYRAUD S., HEROUIN E. & PHILIPPE M., 2002. Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. *Bulletin Français de Pêche Piscicole*, **365/366**, 339-355.

GONAY E. & LAFFORGUE M., 1997. Une solution pour lutter contre l'eutrophisation des lacs et les retenues : l'aération par destratification. TSM. Techniques Sciences Méthodes génie urbain génie rural, 9, 33-45.

INSTITUT INTERDEPARTEMENTAL DU BASSIN DE LA SARTHE. Charte des bonnes pratiques de gestion des plans d'eau. Annexe A. 29 pages. Disponible sur : https://www.bassin-sarthe.org/assets/documents/pdf/Charte_de_bonne_gestion_des_plans_d_eau.pdf

JEANNEAU & LE BIHAN, 2018. Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plans d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire. Rapport de l'Agence Française pour la Biodiversité, Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire.

LE BIHAN M. & HUBERT A., 2023. FICHE technique n°1 : La suppression d'un plan d'eau en barrage sur un cours d'eau. Note de la Direction Bretagne de l'Office Français de la Biodiversité. 10 pages.

LE COZ J., CAMENEN B., DRAMAIS G., RIBOT-BRUNO J., FERRY M. & ROSIQUE J-L., 2011. Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement. Collection « Guides et Protocoles » de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA). 132 pages.

LE LOUARN H. & BERTRU G., 1991. « Influence des élevages extensifs en étangs sur les rivières ». *Revue des Sciences de l'Eau*, 4. 315-327.

MAHEU A., ST-HILAIRE A., CAISSIE D., EL-JABI N., BOURQUE G., BOISCLAIR D., 2016A. A regional analysis of the impact of dams on water temperature in medium-size rivers in eastern Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73, 1885–1897.

MAHEU A., ST-HILAIRE A., CAISSIE D., EL-JABI N., 2016B. Understanding the thermal regime of rivers influenced by small and medium size dams in Eastern Canada. *River Res. Appl.* 32 (10), 2032–2044.

MAXTED, J., MCCREADY, C., SCARSBROOK, M., 2005. Effects of small ponds on stream water quality and macroinvertebrate communities. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.* 39, 1069–1084.

MC DONALD D., DE BILLY V. & GEORGES N., 2018. Bonnes pratiques environnementales. Cas de la protection des milieux aquatiques en phase chantier : anticipation des risques, gestion des sédiments et autres sources potentielles de pollutions des eaux. Collection Guides et protocoles. Agence française de la biodiversité. 148 pages.

MOUILLE J., 1982. Influence des plans d'eau sur les eaux courantes superficielles. Metz, SRAE Lorraine, 38 p.

OFB, EDF & INRAE, 2025. La plateforme logicielle HABBY. Disponible sur : <https://habby.wiki.inrae.fr/fr:habby>

SEYEDHASHEMI H., MOATAR F., VIDAL J.P, DIAMOND J.S., BEAUFORT A., CHANDESRIIS A., VALETTE L., 2021. Thermal signatures identify the influence of dams and ponds on stream temperature at the regional scale. *Science of the Total Environment*, 766, 13 pages.

SINOKROT, B.A., GULLIVER, J.S., 2000. In-stream flow impact on river water temperatures. *J. Hydraul. Res.* 38, 339-349.

SMARL & SINBIO, 2011. Fiche B : Installation d'un moine. Etude préalable pour une gestion raisonnée des étangs du bassin versant de la Largue. 3 pages. Disponible sur : <https://www.epage-largue.eu/wp-content/uploads/2024/03/4-Fiche-B-Moine.pdf>.

TOUCHART L., 2007. L'étang et la température de l'eau : un ensemble d'impacts géographiques. Géographie de l'étang, des théories globales aux pratiques locales. L'Harmattan. 119-156.

TOUCHART L., 1999. La température de l'eau en Limousin. Notes et chronique du Limousin. In : Norois, n°183, 441-451.

TRINTIGNAC P. & KERLEO V., 2004. Impacts des étangs à gestion piscicole sur l'environnement. Nantes, Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la pêche en Pays de la Loire, 69 p.

WEBB B.W., 1996. Trends in stream and river temperature. *Hydrol. Process.* 10 (2), 205-226.