

BATARDEAUX DE MAINTENANCE POUR BARRAGES MOBILES: AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Rigo Philippe, Université de Liège, ANAST-FNRS, Belgique, ph.rigo@ulg.ac.be
Lizin Sandra, Herbillon Vincent, ANAST, Université de Liège, Belgique
Chapital Laura, Voies Navigables de France (VNF), France, laura.chapital@vnf.fr
Poligot-Pitsch Stéphanie, CETMEF, France, Stephanie.Poligot-Pitsch@equipement.gouv.fr

ABSTRACT

MAINTENANCE BULKHEADS OF RIVER NAVIGATION MOVABLE WEIRS: ADVANTAGES AND SHORTCOMINGS

For security reasons, Voies Navigables de France contracted with the government to restore or rebuild 144 manually operated movable navigation weirs. Thus a large research program is initiated, led by CETMEF and funded by VNF and the French Ministry of Public Works. Its goal is to pinpoint the best technical solutions with respect to hydraulics, economics and environment.

For this purpose, ANAST (University of Liege) reviewed the various types of bulkheads used in Europe and the world, in order to develop a comparative table of «*Advantages – Shortcomings*» for the various types of bulkheads. The goal is to create a decision-support tool for waterway operators to select emergency and maintenance closing systems, particularly those intended for maintenance of mobile weirs.

The study done by ANAST identifies a large number of bulkhead types that have been ranged in 12 categories. The first 9 categories are bulkhead composed of :

1. Needles (vertical beams) supported on the sill and on a upper horizontal beam;
2. A series of horizontal beams or panels stacked in the slots of the piers;
3. A single panel stacked in the slots of the piers;
4. Logs or boards with intermediate removable posts;
5. Ballast type box girder/barge and floating gate;
6. Inflatable elements;
7. A structure to be filled with water or aggregate;
8. A framing and a watertight membrane;
9. Self-supporting and watertight elements;

The remaining 3 categories groups bulkheads which are:

10. Integrated and movable (permanent structures, which are deployed when needed);
11. Partial (for the maintenance of a part of a gate);
12. Composed of a membrane (new concept under development).

Consequently, this article gives a general and exhaustive review of the different types of bulkheads, and a table compares their advantages and shortcomings, the range of use, installing means and costs.

SOMMAIRE

L'objectif de l'étude présentée est de créer un outil d'aide à la décision pour l'exploitant des voies navigables dans son choix de bouchures de maintenance (batardeaux). En effet, Voies Navigables de France (VNF) s'est engagé envers l'État à reconstruire ou moderniser 144 barrages à manœuvres manuelles. Pour cela, VNF a lancé un programme de recherche, piloté par le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales) ayant pour objectif d'identifier les améliorations techniques les plus adaptées, tant du point de vue hydraulique qu'économique et environnemental.

À cet effet l'ANAST (Université de Liège) a recensé les différents types de batardeaux existants en Europe et dans le monde, en vue de créer une grille reprenant leurs avantages et inconvénients. Le recensement a permis d'identifier plusieurs familles de batardeaux.

À l'issue de ce classement, une grille regroupant les types de batardeaux permet de comparer les différentes solutions à partir de la présentation des avantages, des inconvénients et de la gamme d'utilisation. Ce tableau synthétique est un outil d'aide à la décision pour les exploitants.

KEYWORDS : Movable weir, barrages mobiles, batardeau, bulkhead, cofferdam, maintenance

1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude présentée est de créer un outil d'aide à la décision pour l'exploitant des voies navigables dans son choix de bouchures de maintenance (batardeaux). En effet, Voies Navigables de France est responsable de la reconstruction ou de la modernisation de 144 barrages à manœuvres manuelles afin d'assurer la sécurité sur son réseau. Pour appuyer cette démarche, VNF a lancé un vaste programme de recherche, piloté par le CETMEF et co-financé par le ministère de l'Équipement. Ce projet a pour objectif d'identifier les améliorations techniques les plus adaptées aux niveaux hydraulique, économiques et environnementaux.

À cet effet l'ANAST (Université de Liège) a recensé les différents types de batardeaux existants en Europe et dans le monde, en vue de créer une grille «*Avantages – Inconvénients*». Le recensement a permis d'identifier douze familles de batardeaux.

Dans les neuf premières familles, les batardeaux sont composés :

- (A) d'aiguilles s'appuyant sur le radier et sur une poutre horizontale supérieure ;
- (B) de poutres horizontales ou panneaux à empiler entre rainures prévues dans les piles ;
- (C) d'une plaque unique à insérer entre rainures prévues dans les piles ;
- (D) de poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires ;
- (E) de caissons ou barges ballastables ;
- (F) d'éléments gonflables ;
- (G) d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats ;
- (H) d'une ossature soutenant une membrane étanche ;
- (I) de structures auto-étanches.

Enfin, les familles restantes regroupent les batardeaux :

- (J) intégrés & escamotables (séries d'éléments permanents, déployés en cas de besoin) ;
- (K) «ventouses», pour la maintenance partielle/locale d'une vanne ;
- (L) membranaires (nouveaux concepts en développement).

À l'issue de ce classement, une grille regroupant les types de batardeaux permet de comparer les différentes solutions à partir de la présentation des avantages, des inconvénients et de la gamme d'utilisation. Ce tableau synthétique est un outil d'aide à la décision pour les exploitants.

En collaboration avec VNF et le CETMEF, ANAST réalise également une étude de faisabilité quant à la réalisation d'un batardeau de type membranaire (case « projet » de la figure 1).

2. TYPES DE BATARDEAUX DE MAINTENANCE

Il existe différents types de batardeaux et ceux-ci peuvent être classés en familles selon différents critères comme le nombre, la forme et le type d'éléments, les matériaux, le mode de reprise des efforts ...

Le schéma ci-dessous (Figure 1) peut servir à la fois de critères afin de définir les familles que nous avons utilisées et de grille de choix d'un type de batardeau pour un exploitant en fonction de ses propres contraintes. Ces critères relèvent des descriptions fonctionnelles et d'exploitation, puisqu'ils s'appuient à la fois sur les différentes fonctions que doit remplir un batardeau (reprise des efforts, transmission de ceux-ci au génie civil et étanchéité) et sur les moyens de mise en place (nombre d'éléments, moyens de transport et de mise en place nécessaires).

Les différentes lettres (de A à L) qui apparaissent au bas de ce schéma représentent les familles dans lesquelles les batardeaux sont classés. L'énumération des batardeaux qu'elles comprennent se trouve en annexe à ce document.

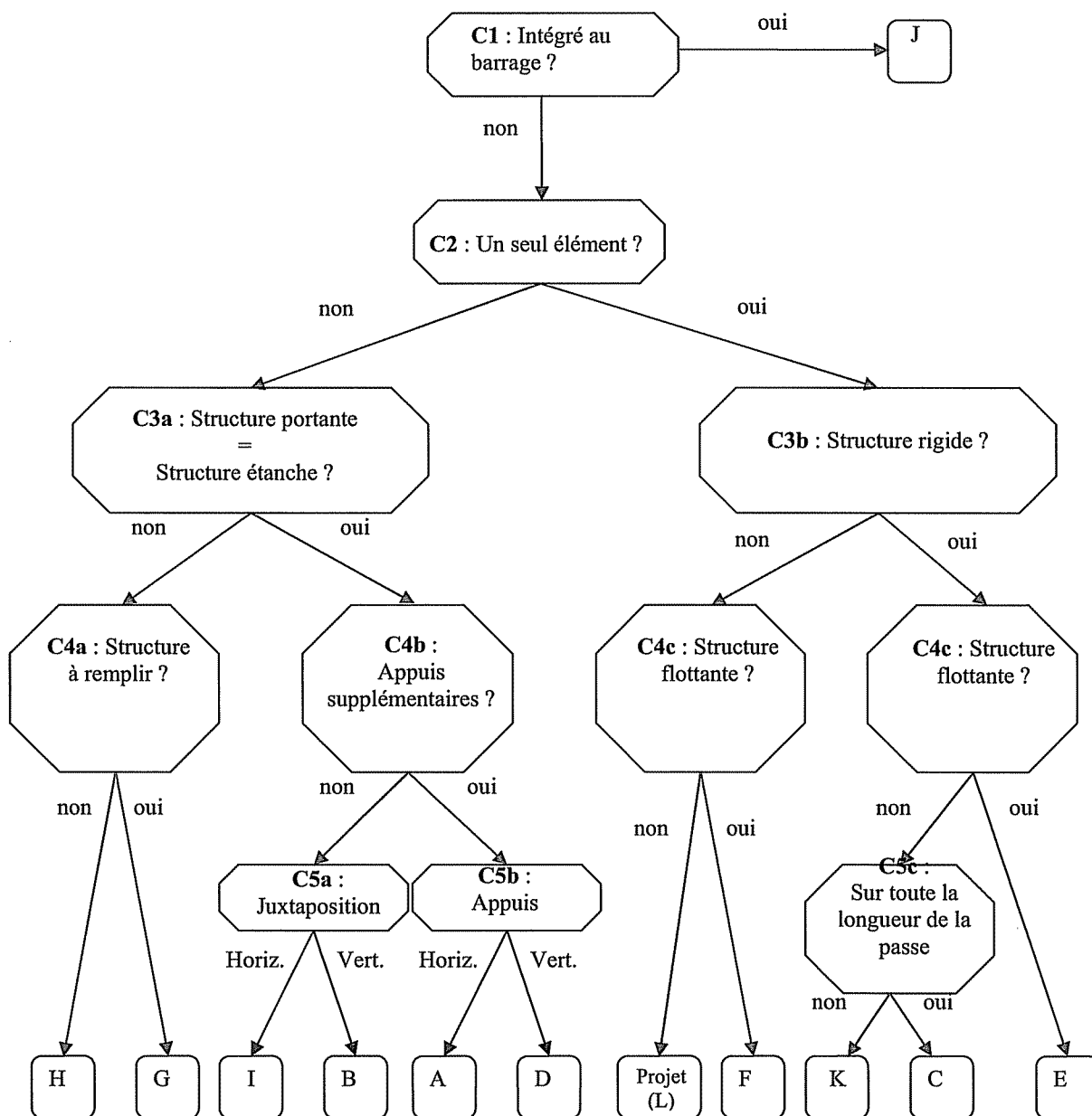


Figure 1: Classification des batardeaux de maintenance

2.1 Batardeaux à aiguilles (A)

Il s'agit d'une série d'éléments verticaux fins (aiguilles) appuyés en pied sur le génie civil et en tête sur une poutre horizontale barrant la passe. Les aiguilles en bois permettent une retenue d'eau de 2 à 3 m tandis que celles en aluminium vont jusqu'à 6 m.

Il existe deux grandes techniques pour la poutre: soit une poutre flottante, soit une poutre placée mécaniquement (treuil, grue, ...).

Quelle que soit la méthode utilisée, il est généralement nécessaire d'ajouter une membrane étanche devant les aiguilles pour augmenter l'étanchéité du batardeau et permettre le travail des ouvriers derrière celui-ci. Sans cette membrane, le travail derrière les aiguilles est pratiquement impossible et le sentiment d'insécurité est important.

Ce système est facile à mettre en place et est éprouvé mais tend à être abandonné vu l'insécurité qu'il engendre.

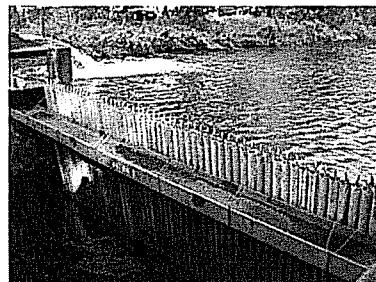


Figure 2 Aiguilles en aluminium

2.2 Batardeaux à poutres ou panneaux (B et C)

Les poutres composant ce type de batardeaux sont des poutres de la largeur de la passe, empilées les unes au dessus des autres jusqu'à boucher toute la passe. Les extrémités sont munies de galets permettant le batardage en eau vive. Les batardeaux à panneaux ont le même principe de base que les batardeaux à poutres sauf que les poutres sont remplacées par des panneaux de la largeur de la passe et d'une hauteur plus significative que celle des poutres (Voir Figure 3).

Les poutres ont une portée variant entre 3 et 15 m tandis que les panneaux peuvent avoir une taille allant jusqu'à 25 m.

Les poutres sont manutentionnées avec un pont roulant 2 axes (1 axe de levage et 1 axe de translation) pouvant éventuellement porter la totalité des poutres ensemble.

Les poutres sont équipées d'étanchéités latérales et inférieures pour l'étanchéité avec la poutre du dessous.

Certains éléments peuvent être modulaires et permettent la combinaison de différents assemblages pour le batardage ce qui, en plus de l'excellente étanchéité, est le principal avantage de ce système.

Comme sur les exemples des figures 3 et 4, le batardeau à panneaux peut être constitué de plusieurs panneaux solidarités entre eux afin de former un seul élément (batardeau plaque).

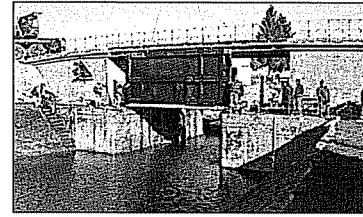


Figure 3 Batardeau de type panneau (Saône)



Figure 4 Batardeau plaque constitué de panneaux ondulés (Saône)

2.3 Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires (D)

Ce type de batardeau est l'évolution du batardeau classique à poutrelles ou à panneaux. Des poteaux intermédiaires, logés dans des réservations dans le radier, permettent de batarder de plus grandes passes. Ces poteaux peuvent être simplement composés de profilés H. Les poutrelles des extrémités sont accueillies dans des rainures réalisées dans les piles/culées.

Ce principe de batardage peut également être utilisé avec des panneaux.

Cette solution est généralement adoptée pour le batardage aval car les hauteurs d'eau à tenir sont faibles vis-à-vis des largeurs de passe (ce batardeau ne peut retenir que 2 à 3 m d'eau).

Les planchettes ou les panneaux en bois sont de plus en plus remplacés par des plaques métalliques ou d'aluminium. Ces dernières ont un meilleur comportement dans le temps, ce qui représente un avantage. D'autre part, l'aluminium permet de garder des structures assez légères. Les plaques ont une hauteur de 10 à 20cm minimum mais les dimensions varient suivant les besoins. Suivant la taille des éléments, la facilité et la rapidité de la pose varient mais le concept reste assez simple. La hauteur de retenue peut être augmentée en ajoutant des béquilles de soutien aux poteaux intermédiaires (voir figure 5).

L'étanchéité peut être augmentée par l'utilisation d'étriers de compression. Une membrane en polyane est souvent employée pour assurer l'étanchéité globale du système mais les étanchéités basses et latérales peuvent aussi être assurées par du néoprène ou des joints en notes de musique.

Ce système supprime les contraintes sur la limitation de la taille des poutrelles car il suffit d'ajouter des poteaux intermédiaires. De plus, il ne requiert pas de moyens lourds pour l'installation.

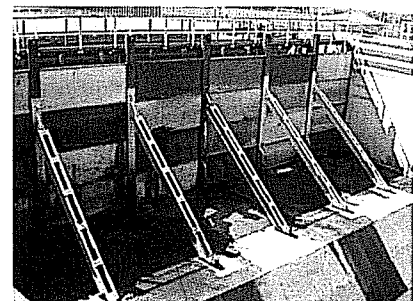


Figure 5 Batardeau à poutrelles soutenues par des béquilles (Magdeburg)

2.4 Batardeaux flottants (E)

- Bateau porte

Ce sont des structures flottantes verticales ou disposées verticalement qui sont ballastées une fois en position pour assurer la bouchure de la passe (figure 6)

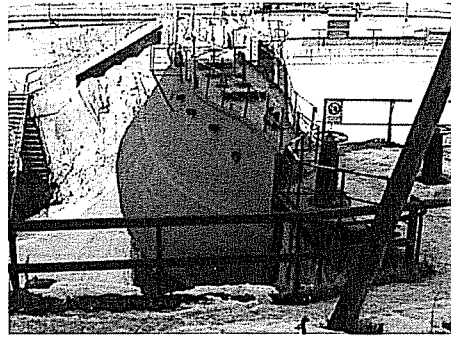


Figure 6 Bateau porte

- Caisson flottant

Il s'agit d'une structure flottant horizontalement qui, afin de boucher la passe, doit pivoter autour de son axe horizontal. La figure 7 illustre cette solution : caisson flottant utilisé pour batarder les passes des barrages dans un rayon de 300 à 400 km dans le district de Nashville aux Etats Unis. Cette structure permet la mise à sec des passes pour la maintenance. Bien que ces dimensions soient assez importantes (34,3m de long, 9 m de haut et 3,2 m d'épaisseur) compte tenu que la flottabilité de la structure, il est possible de la transporter aisément vers un nouveau site. En effet, des vannes permettent de ballaster le caisson et la structure est manœuvrée par un pousseur (les manoeuvres de mise en place sont décrites à la figure 7).

Une fois que l'opération de mise en place est terminée, les chambres sont remplies d'air pour évacuer l'eau et le caisson retrouve sa position horizontale et peut être transporté vers un autre site. A l'heure actuelle un nouveau modèle de caisson est en étude pour augmenter ses possibilités quant aux largeurs de passes pouvant être batardées.

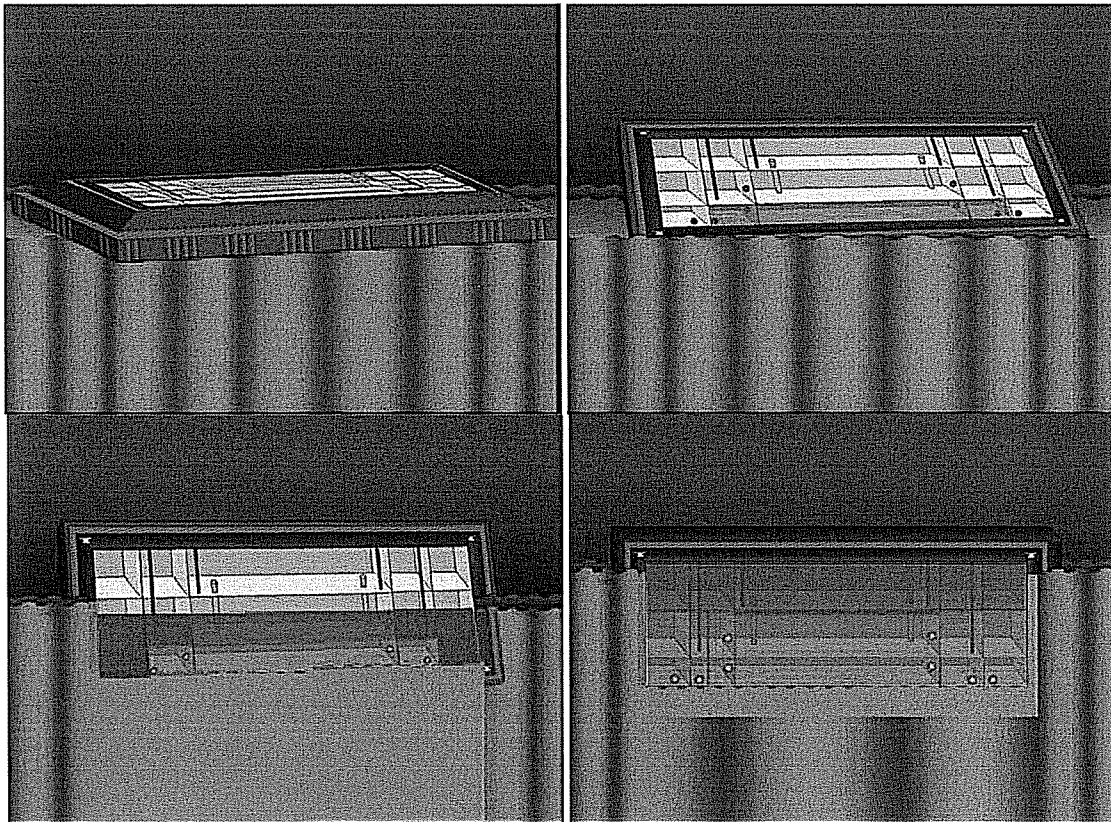


Figure 7 Principe de mise en place du batardeau flottant (INCOM WG26 : *Kentucky Floating Caisson (Maintenance Bulkhead)* par Dale Miller)

Les avantages des batardeaux flottants sont leur possible utilisation pour des grandes passes, leur fiabilité ainsi que leur transport aisé. Par contre, leur coût à la construction et à l'entretien ne joue pas en leur faveur.

2.5 Batardeaux gonflables (F)

Ces protections sont des tubes préfabriqués en géomembrane (caoutchouc) remplis d'air ou d'eau pour former un barrage (figure 8). Les structures remplies d'eau fonctionnent comme des barrages poids, utilisant leur poids pour assurer leur stabilité.

Ces tubes sont généralement transportables et nécessitent des pompes pour le gonflage. La portée que ce type de batardeaux atteint est importante (plusieurs dizaines de mètres). Ils peuvent retenir jusqu'à 5 mètres d'eau.

Pour éviter que la structure ne roule, certains systèmes sont équipés d'ancrages internes ou externes. Les tubes gonflés à l'air sont équipés d'ancrages externes étant donné leur faible poids.

L'étanchéité en base est assurée car le système est ancré dans le sol mais il faut cependant prêter un soin particulier à la réalisation de l'étanchéité latérale qui peut éventuellement poser problème.

Ces batardeaux sont sensibles aux déchirures. Néanmoins, celles-ci peuvent être généralement réparées pendant l'utilisation de la structure. En conclusion, ce système de protection n'est généralement avantageux que pour des passes de grande largeur.

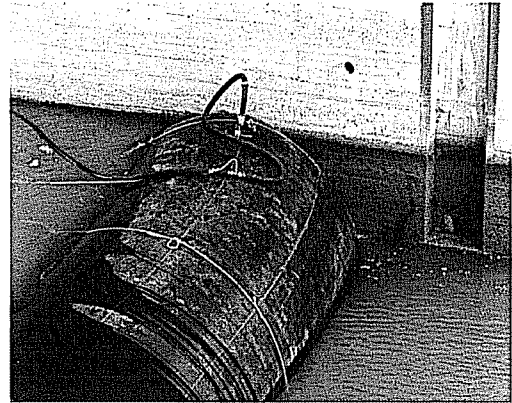


Figure 8 Batardeau gonflable (Belgique)

2.6 Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats (G)

Actuellement ces systèmes sont essentiellement utilisés pour les protections contre les crues mais pourraient être utilisables comme batardeaux.

Ils sont limités en hauteur de sorte que leur utilisation doit plutôt s'envisager pour l'aval. Par contre, il n'y a pas de limitation de portée car on peut assembler autant d'éléments que souhaités. Pour ces systèmes, il n'y a pas beaucoup de maintenance requise mais la mise en place (de même que la vidange) est assez longue. Il y a des joints entre chaque bloc de la structure de sorte qu'il vaut mieux éviter d'employer des blocs de petites tailles nécessitant beaucoup de jointures vu leur nombre.

- Batardeaux avec matériaux de remplissage imperméables

Ce système consiste en des barrières remplies d'agrégats pour former une barrière de protection (figure 9). L'enveloppe de la barrière est un géotextile ou un géosynthétique non imperméable et l'étanchéité est réalisée par le matériau de remplissage de la structure. En fonction du type de ce matériau, la structure complète peut être plus ou moins flexible.

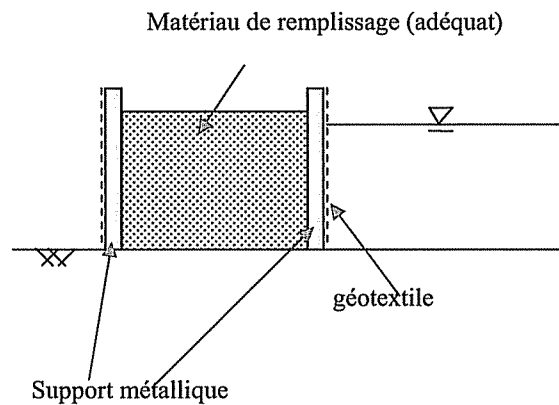


Figure 9 Schématisation d'un batardeau composé d'une structure à remplir d'un matériau donnant l'étanchéité

- *Batardeaux avec enveloppe imperméable*

Ce type de barrière ressemble très fort au précédent. La différence majeure est que la structure extérieure est cette fois imperméable et qu'il y a dès lors moins de restriction quant au matériau de remplissage (agrégats ou eau) à employer. Le rôle essentiel du matériau de remplissage est de donner un poids supplémentaire et de procurer plus ou moins de rigidité (figure 10).

Ces systèmes sont généralement plus rigides que les précédents et ne sont pas adaptés à tous les types de terrains.

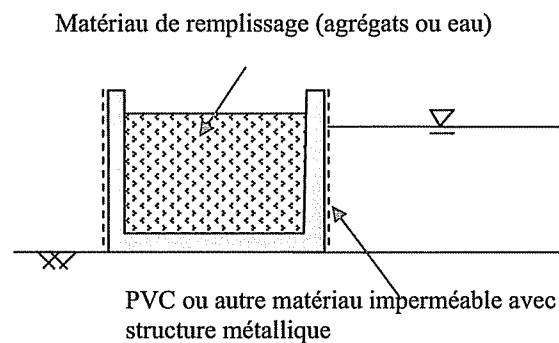


Figure 10 Schématisation d'un batardeau composé d'une structure à remplir d'un matériau

2.7 Batardeau composé d'une structure soutenant une membrane étanche (H)

Cette protection est composée de structures métalliques supportant une membrane imperméable.

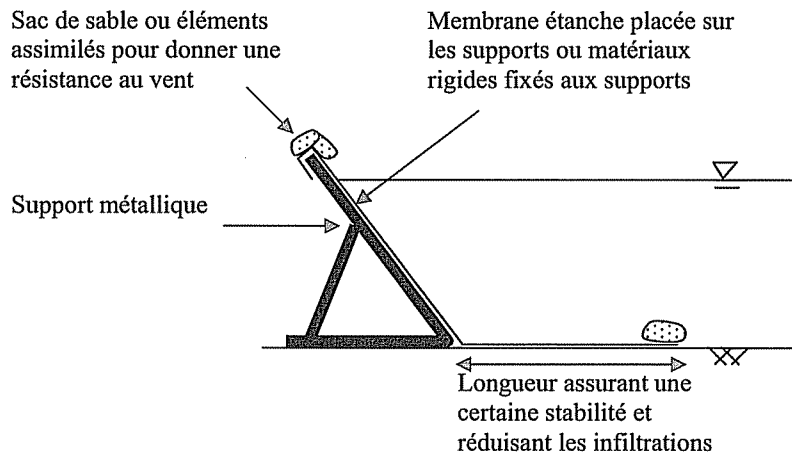


Figure 11 : Schématisation (coupe en travers) d'un batardeau composé d'une structure servant de support et dont l'étanchéité est réalisée par un matériau de couverture

Un exemple de système employant cette technologie est le système Portadam®. Leurs structures sont utilisées pour la construction, la réhabilitation, la protection contre les crues et la maintenance que ce soit dans des rivières, des lacs, des réservoirs ou autres. La structure est simple et composée de supports métalliques assemblés et d'une membrane étanche. Le système de support est étudié pour transférer verticalement les efforts dus à la pression de l'eau et ainsi permettre l'installation sur un sol de fondation sans nécessité d'ancrage. La hauteur de retenue d'eau peut aller jusqu'à 2,5 m.

L'étanchéité est assurée par la présence d'un joint à chaque changement de membranes.

Ce procédé ne requiert donc aucune excavation ou remblai, piles intermédiaires, sacs de sables, ancrages, ... et peut être installé dans n'importe quelle configuration.

2.8 Batardeaux composés d'une structure auto-étanche (I)

Ce type de barrière de protection (figure 12) ressemble fort à la précédente (§ 2.7) excepté qu'elle est composée de sections "autoportantes" en matériaux "renforcés" et étanches (l'étanchéité et la résistance sont réalisées par la même structure contrairement au cas précédent). Elles sont composées de panneaux préfabriqués en béton, en acier, ou autres éléments rigides assemblés entre eux pour former une barrière étanche.

Ce système est recommandé pour l'aval car il ne peut en général retenir des hauteurs d'eau supérieures à 1,5 m.

Des joints verticaux sont présents entre chaque section mais, pour les faibles niveaux d'eau, des fuites sont possibles.

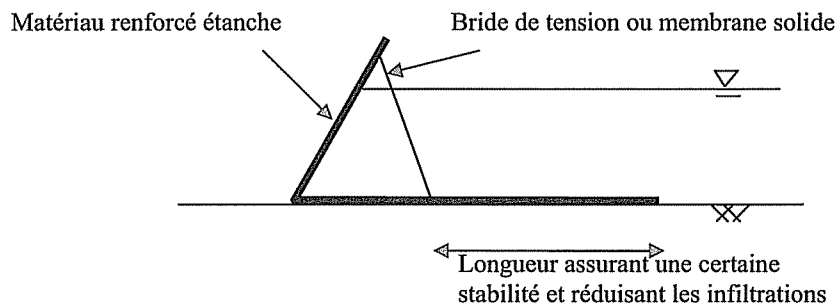


Figure 12 : Batardeaux composés d'une structure auto-étanche

Différentes variantes de ces protections sont possibles en plaçant, par exemple, des fixations permanentes dans le radier. En période de non utilisation, le batardeau est stocké quelque part ou utilisé sur un autre ouvrage mais des fixations permanentes doivent être prévues pour toutes les passes pour accueillir le batardeau.

2.9 Batardeaux intégrés (escamotables) (J)

Ces barrières sont composées de matériaux rigides comme l'acier ou les fibres de verre (figure 13). Elles sont déjà pré-installées. Ce système est assez coûteux mais s'avère utile en cas d'urgence vu sa rapidité de déploiement. Le grand avantage est qu'il ne nécessite pas une installation pendant une crue et n'entraîne pas les risques y afférents.

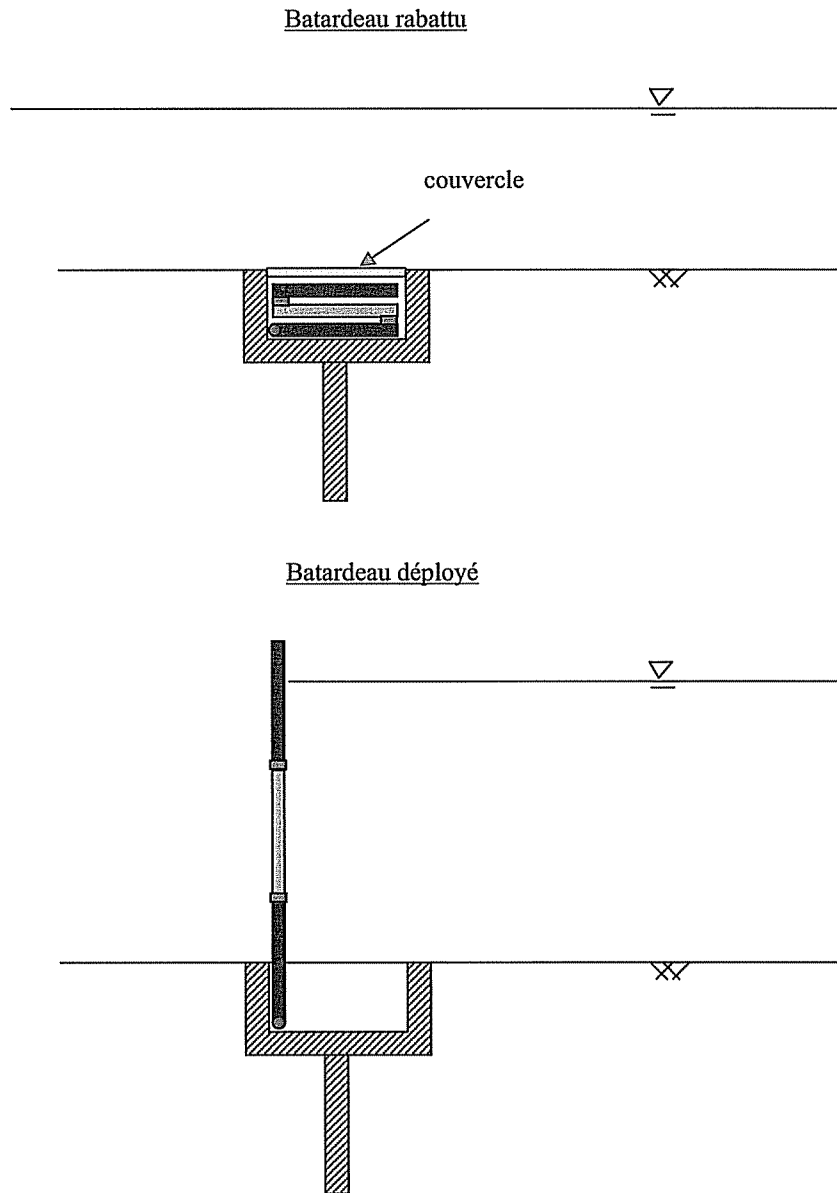


Figure 13 Schématisation des batardeaux escamotables

2.10 Batardeau ventouse

Sur certains ouvrages (notamment ceux de grande largeur de passe), la mise en place d'un batardeau bouchant la passe complète peut demander beaucoup de temps ou de moyens, voire être impossible.

C'est pourquoi une autre technique a été imaginée pour des réparations locales, par exemple pour la maintenance d'une hausse ou celle des vérins sur les clapets (figure 14).

Ces batardeaux dits à ventouse sont des structures métalliques qui viennent se placer à cheval sur les hausses adjacentes à celle sur laquelle on veut travailler ou, dans le cas des barrages à clapet, sur le clapet lui-même et sur la pile, et forment ainsi un espace étanche permettant d'effectuer la maintenance de la hausse, des vérins ou des articulations.

Ce type de batardeau n'est qu'un batardeau amont.



Figure 14 Batardeau ventouse

2.11 Batardeau membranaire (L)

Afin de remplir le manque d'un certain type de batardeau (voir case « projet » de la figure 1), ANAST a mené une étude en collaboration avec VNF et le CETMEF pour créer un nouveau système de batardeau : le type membranaire.

Le batardeau serait réalisé, a priori, à partir d'une membrane PEHD (Polyéthylène Haute Densité) ou EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère) fréquemment utilisée dans le cas des barrages gonflables ou bien à base de dérivés de textiles techniques.

Le principe est de tendre une membrane (en rouge sur la figure 15) entre deux piles, de la fixer à celles-ci, et d'étancher au fond par un système de jupe. Les 3 éléments constitutifs sont donc : la membrane mono-élément, la jupe (en jaune sur la figure 15) et le système de fixation (en vert sur la figure 15). Différentes solutions ont été envisagées ; leurs variations se limitent au système de fixation, ce qui engendre des différences sur la mise en œuvre, et parfois sur la membrane ou la jupe. La figure 15 présente une des solutions.

Les avantages recherchés sont une mise en place aisée ainsi qu'une adaptabilité du système à des passes de tailles légèrement différentes.

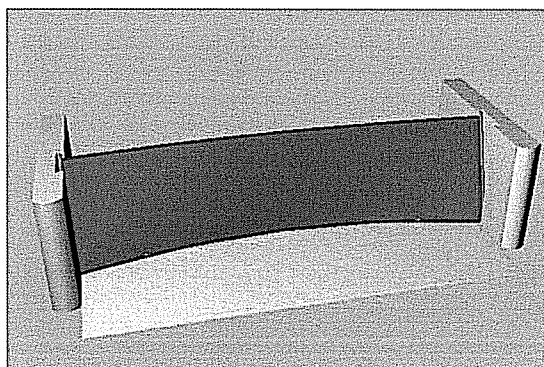


Figure 15 Batardeau membranaire

3. CONCLUSIONS

Le recensement des systèmes de batardage pour les barrages de navigation nous a menés à considérer des systèmes traditionnels mais aussi des systèmes utilisés jusqu'à présent pour la protection contre les crues et même à concevoir un nouveau système à base de matériau membranaire. Chaque type présente ses avantages et inconvénients ainsi que ses limitations en terme de largeur de passe et de hauteur de retenue.

Le tableau ci-après résume l'adéquation des systèmes recensés selon des critères qui nous paraissent pertinents vis-à-vis de l'exploitation des barrages de navigation : simplicité et moyens de mise en place, durée de mise en place, coûts de construction et d'entretien, possibilité d'emploi sur plusieurs sites, performance en étanchéité et sécurité du personnel travaillant derrière le batardeau mis en place, nécessité de plongeurs pour la mise en place.

Tableau comparant les différents types de batardeaux et donnant les avantages et les inconvénients

	Type de batardeau	Simplicité de mise en place/Préparation du batardeau/Moyen	Temps de mise en place	Coût de construction	Coût entretien	Utilisation sur plusieurs sites	Étanchéité, Sécurité	Plongeurs non nécessaires
A	Aiguilles	☺	☹	☺	☺	☺	☹	☹
B	Poutres	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☹
C	Plaques	☹	☺	☺	☺	☹	☺	☹
	Éléments modulaires	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☹
	Vanne levante	☺	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Hausses	☺	☹	☺	☺	☺	☺	☹
D	Poutrelles avec poteaux intermédiaires/ Planchettes	☺	☹	☺	☺	☺	☺	☺
	Poutrelles avec poteaux intermédiaires/ Plaques aluminium	☺	☹	☺	☺	☺	☺	☺
	Poutrelles petits éléments	☺	☹	☺	☺	☺	☺	☺
	Poteaux à bécquilles et plaques métalliques	☺	☹	☺	☺	☺	☺	☺
E	Bateau porte	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺
	Batardeau flottant	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺
F	Gonflable	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹
G	Structure à remplir	☺	☹	☺	☺	☺	☹	☺
H	Structure soutenant membrane étanche	☺	☹	☺	☺	☺	☹	☺
I	Structure auto-étanche	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
J	Batardeau intégré	☺	☺	☹	☹	☹	☺	☺
K	Batardeau ventouse	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺
L	Batardeau membranaire	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☹



En annexe, un catalogue de quelques pages reprend les avantages, les inconvénients et la gamme d'utilisation des différents types et sous-types de batardeau analysés. Il permet de voir facilement les avantages et les inconvénients des principaux batardeaux, et ainsi de faire un choix en fonction de ses propres besoins et contraintes.

RÉFÉRENCES

- INCOM WG26 Report (2006), "Design of Movable Weirs and Storm Surge Barriers", Report of the INCOM-WG26 , <http://www.pianc-aipcn.org> , Publ. PIANC, Brussels, January 2006, 124p (avec CD-Rom).

Catalogue des batardeaux précisant les avantages, les inconvénients et la gamme d'utilisation

A. Batardeaux à aiguilles				
	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
A.1	Batardeaux à aiguilles (général)	Batardeau de maintenance Généralement pour batardeau amont Pas de limitation de longueur La hauteur de retenue est limitée par la dimension des aiguilles, leur longueur, leur poids et donc aussi leur mise en place - Les aiguilles en bois (2 à 3m de retenue), aiguilles de 8 x 15m; 10 x 10m, 10 x 20cm (longueur 3 à 4m) - Les aiguilles en aluminium (3 à 6m de retenue max.), aiguilles de 10 x 20cm	Système bien connu et éprouvé Simplicité apparente de mise en place Pas de limitation de longueur Ne nécessite pas beaucoup de moyens (installation manuelle) Système durable Coût réduit (à la construction) Eléments faciles à déplacer d'un site à l'autre Aiguilles utilisables pour plusieurs sites ayant des hauteurs de retenue différentes Meilleure étanchéité	Sentiment d'insécurité Mauvaise étanchéité Problème d'étanchéité latérale Danger de rupture des aiguilles Présence de plongeurs (plus risque d'aspiration des plongeurs si la fuite de la vanne est trop importante) Temps de mise en place important Problème de fiabilité dû au nombre d'éléments (probabilité d'accident plus importante)
A.2	Avec membrane (polyane)			Augmente le temps de mise en place
A.3	Avec poutre de tête flottante	Portée du barrage limitée par la taille de la poutre de tête et par les systèmes de levage (éventuels) et de manutention pour la mise en place		Portée limitée

B. Batardeaux à poutres ou panneaux			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
B.1 Batardeaux à poutres (général)	Batardeau de maintenance Batardeau de secours (étudié mais jamais testé) Généralement pour l'amont mais aussi pour l'aval Portée limitée par la dimension des poutres et la retenue (pression). La dimension des poutres elle-même étant limitée par la technique de mise en place (treuils, grues, ...) - Poutre en bois: portée max de 3 à 5m - Poutre en aluminium: portée max de 5 à 15m	Extrémité avec galets pour le batardeage en eaux vives (étudié mais jamais testé) En principe pas de plongeur Théoriquement utilisable sur plusieurs sites mais vu la dimension et le poids des éléments c'est rarement pratiqué	Nécessité de moyens lourds pour la mise en oeuvre Système de levage Possibilité de problèmes de résonance (eau entre les poutrelles pendant le soulèvement) Difficulté de faire descendre les poutres (frottement sur les piles en présence du courant) Difficulté d'accrochage/décrochage des poutres (pour les enlever) Théoriquement utilisable sur plusieurs sites mais vu la dimension et le poids des éléments c'est rarement pratiqué Étanchéité meilleure qu'avec des aiguilles mais pas parfaite (soit on place une feuille plastique à dérouler à l'amont mais ceci requiert des plongeurs, soit il faut un système continu de pompage/épauement)
C. Batardeaux à plaques ou panneaux modulaires assemblés			
C.1 Batardeaux à panneaux	Panneaux raidis : 10 à 25m Éléments en tôles ondulées: 5 à 10m	Bonne étanchéité Fiable Grands éléments → temps de mise en oeuvre diminue → meilleure étanchéité (moins de joints)	Poids augmenté Mise en place nécessite des moyens importants
C.2 Batardeaux panneaux à éléments modulaires	Gray: éléments modulaires de 3x5m et 1,5x5m et éléments plus petits (assemblés permettent de batardeer des passes de 5 à 10m)	Application à différents types de passes (largeur et hauteur différentes, écluse ou barrage) Pas trop coûteux vu la polyvalence obtenue (utilisable sur plusieurs sites)	Temps d'assemblage important (problème spécifique aux éléments modulaires)
C.3 Vanne levante et abaissante	Batardeau de maintenance Batardeau de secours Généralement pour l'amont	Toujours disponible (batardeau pour un seul ouvrage) Fermeture possible en cas de	Spécifique à un seul site voire à une seule passe → coût élevé Très coûteux (vanne, mécanisme et

		En principe pas de limitation (portée de 20 à 100m, chute de 3 à 20m) En pratique portée de 15 à 40m.	coupure de réseau, ... Efficace comme batardeau de secours	infrastructure) Pas esthétique (pas adapté sauf si environnement industriel ou intégration avec un pont routier)
D. Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires				
	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
D.1	Batardeaux à poutrelles courtes	Batardeau de maintenance Généralement pour l'aval car la hauteur du batardeau est limitée par la hauteur d'eau à tenir (maximum de 2 à 3m) Solution de batardeau universelle pour l'aval Utilisation limitée par la mise en place des poteaux (idéal pour un batardeau à l'étiage car l'aval est accessible à pied) L'espacement entre les poteaux est de l'ordre de 2m (mais pas de limite technologique sur le nombre de tronçons)	Peu coûteux Facilité de mise en place si accessible à pied Pas de limitation de longueur (ajout d'éléments pour garder des poutrelles de longueurs acceptables) Système éprouvé Système durable Pas de moyens lourds pour l'installation (éléments de tailles raisonnables, installation manuelle)	Les réservations dans le radier doivent être nettoyées (dépôts pouvant être difficiles à enlever) Nécessité de plongeur si retenue de plus de 1m Le nombre important d'éléments augmente le temps de mise en place du batardeau Un équipement de levage est nécessaire si les éléments sont trop importants (retour à la catégorie B)
D.2	Ajout d'une membrane étanche		L'étanchéité est augmentée	Des plongeurs sont nécessaires pour le placement de celle-ci
D.3	Amélioration des joints (néoprène ou notes de musique)		Meilleure étanchéité	
D.4	Ajout de barres de jonction entre les panneaux		Augmente le parallélisme et la verticalité des poteaux	Eléments supplémentaires → Stockage plus important
D.5	Ajout d'une béquille de soutien aux poteaux		Augmente la robustesse Augmente la résistance aux charges d'impact	→ Transport plus lourd → Installation plus longue
D.6	Poutrelles ou panneaux métalliques		Meilleur comportement dans le temps et meilleure résistance Eléments en aluminium sont plus légers	
D.7	Batardeaux à petits panneaux modulaires métalliques		Liberté d'application à plusieurs ouvrages	Augmente le temps de batardeage

E. Batardeaux flottants				
	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
E.1	Caissons flottants	Batardeau de maintenance Batardeau de secours (étudié mais jamais testé) Généralement pour l'amont Pour des portées importantes (>20m)	Fiabilité Rapidité de mise en place Facilement transportable d'un site à l'autre (par flottaison) Possibilité d'éléments modulaires pour application à différents sites de dimensions différentes	Coûteux à la construction Coûteux à l'entretien (maintenance importante) Si flottaison verticale: • Attention au tirant d'air • Procédure de ballastage à suivre rigoureusement (danger de renversement)
E.2	Bateau porte	Pour des portées importantes (>20m)	Fiabilité Rapidité de mise en place Facilement transportable d'un site à l'autre (par flottaison) Peut dans certains cas servir de système de secours	Nécessité de moyens lourds (remorqueurs, vérin, ...) Nécessité d'un lieu de stockage Pas rentable pour un seul ouvrage

F. Batardeaux gonflables				
	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
F.1	Batardeaux gonflables	Batardeau de maintenance Pour l'amont et pour l'aval (suivant le producteur il existe une limitation de hauteur du batardeau) Pas de limitation dans la portée	Peu coûteux pour des systèmes avec une portée importante Facilité de transport et de stockage Rapidité d'installation Pas beaucoup de moyens (quelques hommes et une ou deux pompes) Petites réparations réalisables sur site (rustines) Standardisation → peut être utilisé sur plusieurs barrages ayant des dimensions similaires (quelques centimètres ou dizaines de centimètres de différence est acceptable) → s'adapte bien à des retenues différentes	Robustesse à confirmer surtout au contact avec les piles Joints à réaliser avec soin Rapport largeur/hauteur important Pas avantageux pour les faibles ouvertures Pour les réparations importantes (tissus affectés), équipe de réparation spécialisée (vulcanisation) Nécessité de plongeurs

G. Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats				
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients	
G.1 Généralités	Batardeau de maintenance En général pour l'aval (car limitation de hauteur) Pas de limitation de portée	Pas d'exigence sur les matériaux de remplissage (même eaux si structure étanche)	Mise en place assez longue (surtout vidange) Transport du matériau de remplissage sauf si possibilité d'utiliser de l'eau	
G.2 Batardeaux formés de blocs à empiler		Augmentation de la hauteur possible mais attention à la stabilité Blocs rigides → bonne résistance Pas besoin de beaucoup de moyens (installation manuelle mais camion pour le transport) Pas de maintenance	Si petits éléments beaucoup de joints Volume de stockage important	

H. Batardeau composé d'une structure soutenant une membrane étanche				
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients	
H.1 Structures soutenant membrane étanche	Batardeau de maintenance En général pour l'aval (limitation de hauteur) Pas de limitation de portée	Pas de limitation de portée Facilité de mise en place Faible espace de stockage Pas besoin de beaucoup de moyens pour l'installation	Hauteur fixe La membrane est un élément sensible Danger de glissement	

I. Batardeaux composés d'une structure auto-étanche				
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients	
I.1 Batardeaux à structures sans membrane étanche	Batardeau de maintenance En général pour l'aval (limitation de hauteur) Pas de limitation de portée	Pas de limitation de portée Facilité de mise en place Pas besoin de beaucoup de moyens pour l'installation	Hauteur fixe Fuites possibles pour les faibles niveaux d'eau Peu bouger sous des vents importants Sensible au vandalisme	
I.2 Structures avec fixations permanentes		Faibles moyens d'installation	Sensible au vandalisme	
I.3 Structures rigides		Grandes résistance aux impacts et au vandalisme Durable Hauteur éventuellement modifiable par empilage d'éléments	Moyens importants pour l'installation Pas de réparation en service	

J. Batardeaux intégrés (escamotable)			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
J.1 Batardeaux escamotables (général)	Batardeau de maintenance Batardeau de secours En général pour l'amont (structure importante) mais pour l'aval aussi Pas de limitation de portée	Pas d'installation à faire (surtout avantageux en cas d'utilisation d'urgence) Facile et rapide Pas de stockage Esthétique Stable et résistant aux impacts Rigide → résistant Durable	Hauteur fixe Panne possible dans le système mécanique Non utilisable sur un autre site (structure fixée) Coût important Logement dans le radier

K. Batardeaux ventouse			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
K.1 Batardeaux ventouse	Batardeau de maintenance Pour l'aval Utilisation locale (dans les coins)	Peu coûteux Uniquement pour les travaux ponctuel → ne nécessite pas le placement de tout un batardeau quand ce n'est pas nécessaire	En pratique pas vraiment réutilisable car problème de stockage/entretien Uniquement pour les travaux ponctuel

K. Batardeaux membranaires			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
L.1 Batardeaux membranaires	Batardeau de maintenance Pour l'amont et l'aval	Peu coûteux Durable Utilisable sur des passes de tailles légèrement différentes	Sensible au vandalisme Joint à réaliser avec soin