

vnf

voies
navigables
de France

direction
de l'Infrastructure
et de l'Environnement

outils



CATALOGUE DES BATARDEAUX

Étude bibliographique
et recensement des batardeaux
de maintenance et de secours



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère
des Transports
de l'Équipement
du Tourisme
et de la Mer

CETMEF

Table des matières

Chapitre I : Analyse de l'objet « Batardeau »	4
Introduction	5
1 Terminologie	6
1.1 Définition	6
1.2 Batardeau de secours.....	6
1.3 Batardeau de maintenance pour vanne à immersion limitée.....	6
1.4 Batardeau de maintenance pour les vannes presque totalement immergées	6
2 Analyse fonctionnelle et technologique	7
2.1 Analyse fonctionnelle	7
2.2 Caractéristiques d'un batardeau	7
2.3 Analyse technologique : mise au point d'une solution	9
2.4 Description d'une solution	9
3 Classification des batardeaux	11
3.1 Proposition de critères	11
3.2 Schéma d'identification des familles de batardeaux	12
3.3 Cheminement de décomposition en familles.....	13
3.4 Récapitulatif.....	15
Chapitre II : Catalogue des batardeaux	16
Introduction	17
Structure de l'analyse.....	17
Retour d'expérience	17
1 Famille A : Batardeaux à aiguilles	18
1.1 Description sommaire	18
1.2 Description détaillée	18
1.3 Exemples	24
1.4 Retour d'expérience	29
1.5 Fiche récapitulative	30
2 Famille B : Batardeaux à poutres ou à panneaux	31
2.1 Description des batardeaux à poutres.....	31
2.2 Description des batardeaux à panneaux	32
2.3 Exemples	33
2.4 Fiche récapitulative	35
3 Famille C : Batardeaux plaque	36
3.1 Description.....	36
3.2 Exemples	36
3.3 Retour d'expérience	38
3.4 Fiche récapitulative	40
4 Famille D : Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires	41
4.1 Description sommaire	41
4.2 Description détaillée	41
4.3 Exemples	44
4.4 Retour d'expérience	57
4.5 Fiche récapitulative	58
5 Famille E : Bouchures flottantes (caissons)	59
5.1 Description.....	59
5.2 Exemples	61
5.3 Retour d'expérience	71
5.4 Fiche récapitulative	72

6	Famille F : Batardeaux gonflables	73
6.1	Description	73
6.2	Exemples	74
6.3	Fiche récapitulative	82
7	Famille G : Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats	83
7.1	Description.....	83
7.2	Exemples	85
7.3	Fiche récapitulative	90
8	Famille H : Batardeaux composés de structures soutenant une membrane étanche	91
8.1	Description.....	91
8.2	Exemples	92
8.3	Fiche récapitulative	97
9	Famille I : Batardeaux auto-étanches	98
9.1	Description.....	98
9.2	Exemples	100
9.3	Fiche récapitulative	105
10	Famille J : Batardeaux escamotables.....	106
10.1	Description.....	106
10.2	Exemples	107
10.3	Fiche récapitulative	112
11	Famille K : Batardeaux ventouse.....	113
11.1	Description.....	113
11.2	Exemples	113
11.3	Fiche récapitulative	115
Chapitre III Comparatif des batardeaux		116
1	Synthèse	117
2	Comparaison détaillée	119
Annexe.....		130

Chapitre I : Analyse de l'objet « Batardeau »

Introduction¹

Il subsiste en France à l'heure actuelle 147 barrages à manœuvre manuelle (barrages à aiguilles, à planchettes, à vannettes et à hausses) gérés par Voies navigables de France (VNF) et au moins 75 autres gérés par l'État ou les collectivités territoriales.

Or des difficultés d'exploitation de ces ouvrages sont prévisibles dans les années futures (vétusté des ouvrages, diminution des effectifs de barragistes, renforcement des exigences de sécurité du travail, exigences renforcées du public sur la qualité de la gestion des crues et des étiages).

Les impératifs de sécurité et de gain de productivité impliquent la modernisation voire la reconstruction des barrages à manœuvre manuelle.

L'importance de l'enjeu justifie un programme coordonné de recherches appliquées sur les améliorations techniques envisageables, les critères permettant d'en apprécier l'intérêt, les limites et les impacts, et sur la méthodologie d'évaluation technique, environnementale et socio-économique de différents scénarios d'investissement.

C'est dans le cadre de ce programme de recherches qu'une étude sur les batardeaux est proposée. En effet, la prise en compte de la maintenabilité des ouvrages reconstruit implique la conception du système de batardage conjointement à celle du barrage. De nombreux systèmes existent, et trouver le meilleur compromis pour d'un site donné peut s'avérer délicat.

Le but de ce document est donc de présenter d'une manière générale les exigences et contraintes d'un batardeau, puis les différents types de batardeaux et enfin de proposer une table de comparaison aidant l'exploitant (et le concepteur) dans le choix d'une solution en fonction de ses besoins et de ses contraintes. Ce document est ainsi composé comme suit :

- Chapitre I : Analyse fonctionnelle du batardeau
Ce chapitre analyse les fonctions d'un batardeau et entreprend une classification en familles des différents types de batardeaux.
- Chapitre II : Catalogue des systèmes
Ce chapitre donne sous forme de fiches, pour chaque famille de batardeau, une description ainsi qu'une analyse d'exemples pratiques et un éventuel retour d'expérience issu de visite sur la Seine, la Saône et la Meuse française et belge.
- Chapitre III : Tableaux récapitulatifs
Cette dernière partie donne un tableau qui permet la comparaison rapide des différents systèmes, ainsi qu'un tableau récapitulatif des descriptions, avantages et inconvénients des systèmes présentés.

¹ Modernisation de l'exploitation des barrages à manœuvres manuelles, Axes de recherches, CETMEF, 2002

1 Terminologie

1.1 Définition¹

Un batardeau est une structure provisoire installée en remplacement d'une bouchure « traditionnelle », soit pour réaliser la maintenance (préventive ou curative) de celle-ci, soit pour réagir à un incident grave.

Un batardeau est donc une bouchure mobile, ce qui implique que :

- l'étanchéité doit être assurée ;
- la bouchure doit être mise en place et enlevée ;
- le batardeau doit être transporté et amené sur site
- la structure doit être stockée et entretenue

On peut distinguer, selon leur utilisation, trois types de batardeaux décrits ci-après¹.

1.2 Batardeau de secours

Conçu pour réagir à un incident ou un accident rendant la bouchure inopérante, en particulier en position effacée (cas d'une bouchure qu'on ne peut plus fermer), ce batardeau doit pouvoir être mis en place dans le courant et être en mesure soit de se substituer à la bouchure endommagée, soit de permettre son remplacement. Ces conditions sont alors très contraignantes : les courants au travers d'une passe endommagée (vitesses de plusieurs mètres par seconde) provoquent des efforts très importants sur une bouchure pleine, dont l'immersion et la mise en place devient difficile et périlleuse.

Attention : un batardeau de secours n'est pas forcément mis en urgence.

1.3 Batardeau de maintenance pour vanne à immersion limitée

Pour les barrages dont les pièces immergées des vannes sont limitées aux plats d'étanchéité (cas des vannes levantes ou segment), le batardeau remplace la bouchure mais ne permet pas la mise à sec (inutile) de la passe. Il fonctionne avec le dénivelé courant de la période d'intervention dont la date est choisie, et est mis en place sans charge d'eau, en amont de la bouchure, en eau calme.

1.4 Batardeau de maintenance pour les vannes presque totalement immergées

Pour les barrages dont les vannes présentent des articulations ou des systèmes de remplissage dont la visite régulière à sec est nécessaire (cas des clapets, vannes secteur ou vannes toit), le batardeau doit autoriser la mise à sec de la passe, doit être étanche, et subir donc des efforts plus importants. Un batardeau amont et un batardeau aval doivent être prévus, qui sont généralement de type différent, les efforts repris et les méthodes de mise en place étant différents.

¹ Les barrages mobiles de navigation, Guide du chef de projet, Voies navigables de France sous la direction du Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales

Très souvent, la portée des vannes est limitée par la facilité de mise en œuvre du batardeau de maintenance. Pour des vannes de grandes portées, le batardage peut nécessiter soit la création de piles intermédiaires (inutile en temps ordinaire), soit la disponibilité d'un batardeau de grande portée demandant généralement des systèmes complexes de mise en œuvre (bouchures flottantes, remorqueurs, pompes d'immersion, vérins, circuits hydrauliques, ...).

2 Analyse fonctionnelle et technologique

2.1 Analyse fonctionnelle

Contrairement à un système permanent, le batardeau est un système de protection démontable qui entre en fonction lorsque la maintenance préventive ou curative de la vanne doit être effectuée. Il faut donc placer une structure de remplacement afin d'assurer l'étanchéité de la passe.

Un système de protection démontable inclut donc :

- Des éléments permanents et fixes (engravure, anneaux, passerelle...)
- Des éléments temporaires et mobiles (le batardeau ou ses parties) ;
- Une fondation et des liaisons avec la structure ;
- des étanchéités.

Ces éléments doivent assurer :

- la résistance à la force de l'eau ;
- la liaison au génie civil du barrage ;
- la liaison entre éléments (éventuellement) ;
- l'étanchéité.

Une seule pièce peut assurer les quatre fonctions (panneaux), ou chaque fonction peut être reprise par des pièces différentes (batardeau à aiguilles).

2.2 Caractéristiques d'un batardeau

2.2.1 Caractéristiques

Un batardeau peut être caractérisé de différentes façons mais il faut notamment prendre les points suivants en considération :

- le type d'utilisation : maintenance courante ou exceptionnelle, maintenance programmée, secours, complémentarité avec d'autres types d'inspection ou intervention en eau (plongeurs) ;
- le nombre de barrages destinataires du même batardeau ;
- l'interchangeabilité avec des batardeaux d'autres ouvrages et standardisation ;
- la géométrie : largeur, hauteur d'eau retenue maximum, les poids du plus petit et du plus gros élément ;
- les conditions d'utilisation : hauteur d'eau, position amont ou aval, durée d'utilisation (valeurs normales et extrêmes), possibilité de rehausse (hauteur ?) ;
- les conditions de mise en œuvre : hauteur d'eau, courant ;
- les performances : temps et personnel nécessaires à la pose et à la dépose;

- la fréquence d'utilisation (annuelle, décennale) pour le batardeau et par ouvrage (si différente) ;
- l'étanchéité requise : le pompage toléré ;
- la durabilité ;
- la maintenabilité ;
- la sécurité pour le personnel et l'exploitation.

2.2.2 Contraintes

Ces caractéristiques vont également dépendre d'une série de contraintes :

- l'accès par la route (tonnage) ou par l'eau (flottabilité de la rivière et profondeur et/ou moyens de transport par la rivière disponibles comme les bigues et pousseurs) ;
- les moyens de manutention disponibles en rive et sur piles ;
- la disponibilité en énergie ;
- Les conditions de stockage (abrité, sur site...) ;
- le matériel de mise en place doit-il être toujours disponible ou sera-t-il fourni à chaque opération ? (adapté aux utilisations exceptionnelles) ;
- les durées et la saison disponible pour les travaux ;
- les caractéristiques du génie civil actuel.

2.2.3 Temps nécessaire à la mise en œuvre

Un point important dans la caractérisation des systèmes de protection est la durée de mise en œuvre.

La mise en place de ces structures temporaires dépend de différents paramètres que l'on peut séparer en trois grands groupes suivants qu'ils sont liés :

- à l'exploitation ;
- aux caractéristiques du site ;
- au type de bouchure considérée.

Sans créer de liste exhaustive, le tableau suivant (Tableau 1) reprend les paramètres principaux pouvant influencer sur le temps de mise en place du batardeau.

Paramètres liés à l'exploitation	Paramètres liés aux caractéristiques du site	Paramètres liés au type de bouchure considérée
Procédure de mise en place de la bouchure	Éloignement (site – stockage)	Possibilité de transport
Organisation et expérience de personnel mettant en place la bouchure	Accessibilité du site (transport et accueil)	Dimensions et poids de la bouchure
Préparation du site	Type de préparation préalable	Type de système
Ressources disponibles	État des fondations et des liaisons structure - ouvrage (éléments fixes du batardeau)	Moyens à mettre en œuvre pour la pose
		Type de fixation
		État du batardeau (vétusté, niveau de technologie, ...)

Tableau 1 : Paramètres influençant le temps de mise en place des batardeaux

2.2.4 Ressources nécessaires pour l'installation

Le nombre de personnes et la quantité de matériel nécessaires pour la mise en place du batardeau sont deux facteurs qui affectent l'organisation et le temps de mise en place de la bouchure de protection.

Les ressources minimales comme par exemple le nombre de personnes et la présence de plongeurs, le moyen de transport du batardeau (camion, pousseur) ou le système de levage, nécessaires à l'installation sont fonction de la taille, du poids et des contraintes propres au système choisi.

2.2.5 Facilité de mise en place

Ces systèmes de protection sont installés par tous les temps et en particulier dans de mauvaises conditions climatiques en ce qui concerne les batardeaux de secours (pluie, nuit...). Les délais impartis pour la maintenance d'une bouchure sont souvent courts, aussi, il est important de réduire les durées de mise en place et de dépose.

Le placement peut être facilité par :

- L'utilisation de systèmes modulaires ;
- La diminution du nombre d'opérations ;
- La mécanisation ;

2.3 Analyse technologique : mise au point d'une solution

Lorsqu'on doit choisir un système de batardage, il faut préalablement :

- Identifier les fonctions mécaniques (fonctions de base...)
 - étanchéité
 - résistance à la poussée de l'eau
 - transmission des efforts au génie civil
 - mobilité
- Rechercher la taille maximale des éléments en fonction du transport (par route ou par voie d'eau) et du levage

On en déduit un éventuel découpage en éléments. Pour chaque élément on doit effectuer une analyse structurelle :

- fonctions mécaniques
- fonctionnement : torsion, flexion, appui
- performance requises : résistance, poids, étanchéité.

L'énergie et la force extérieure nécessaires pour la pose ainsi que la procédure de mise en place sont alors définies.

2.4 Description d'une solution

La description complète de la solution passe par l'identification précise des différents éléments ci-après :

- bouchure :
 - Matériau(x)
 - Poids total et poids des éléments (surtout le plus lourd)
 - découpage en éléments
 - connections des éléments
 - éventuelle protection contre la corrosion
 - adaptation du génie civil (encoches, appuis)
- travaux à réaliser :

- construction du batardeau lui-même
- adaptations du génie civil
- travaux sur le site de stockage et les aires de chargement/déchargement, mise à l'eau...
- mode d'utilisation :
 - limites d'utilisation optimale (hauteur d'eau, courant)
 - pompage
 - type d'étanchéité : joints...
 - sécurité et fiabilité, risques de rupture
- mode de mise en place :
 - procédures : différentes étapes.
 - temps de mise en place
 - moyens de manutention, levage
 - flottabilité
 - matériel requis (pompes...)
 - personnel requis (plongeurs...)
- mode de stockage et entretien :
 - sur le barrage ou non (ou partiellement)
 - superficie nécessaire
 - entretien après une opération
 - entretien périodique

3 Classification des batardeaux

Afin de structurer l'analyse des différents batardeaux, une classification de ceux-ci est nécessaire. La définition des familles de batardeaux est basée tout d'abord sur la définition des batardeaux et des trois types de batardeaux décrits ci-dessus, mais également de critères tels que le nombre et la forme des éléments, les matériaux, la mise en place ...

Nous avons adopté une classification en fonction de critères essentiellement mécaniques. Cette classification n'est pas unique, et d'autres critères auraient pu être choisis.

Les critères sont décrits ci-après, puis un schéma explique la logique de classification. Ce schéma peut aussi être suivi par un concepteur voulant choisir le type de batardeau approprié à son cas.

3.1 Proposition de critères

En fonction des analyses fonctionnelle et technologique des batardeaux (voir Chapitre I2 ci-dessus), des critères principaux sont définis :

1. Batardeau intégré

Il s'agit d'un batardeau en permanence sur le barrage. Si un batardeau de secours est nécessaire étant données les contraintes d'exploitation du bief, il peut être intéressant que le batardeau, qui sert alors également à la maintenance, soit intégré au site de manière permanente.

2. Plusieurs éléments ou élément unique

Le nombre d'éléments constituant le batardeau est le deuxième critère car cela conditionne à la fois les méthodes et moyens de mise en place et le fonctionnement mécanique du batardeau, donc les exigences fonctionnelles.

3. Structure rigide ou souple

La rigidité de la structure va également influencer la reprise des charges ainsi que les notions d'étanchéité principalement grâce à l'utilisation de matériaux membranaires.

4. Structure flottante

Concernant essentiellement les batardeaux dits uniques ou mono-élément (composés d'un seul élément), le fait que la structure soit flottante et donc que la mise en place se fasse par flottaison constitue un critère de différenciation des batardeaux non négligeable.

5. Structure portante et/ou étanche

Concernant les batardeaux à plusieurs éléments, il est possible que les éléments qui jouent le rôle de structure portante n'assurent pas le rôle d'étanchéité. Cette distinction n'a pas grand intérêt dans le cas des batardeaux à un seul élément puisque dans ce cas, la structure étant « unique », elle doit assurer les deux fonctions.

6. Liaison au génie civil

Le type de liaison au génie civil va également influencer le type de batardeau par la manière dont les charges sont transmises au génie civil. Suivant les cas, les liaisons peuvent être réalisées avec le radier, les piles, la bouchure ou une combinaison de ces trois éléments. Les appuis sur la bouchure concerne un seul type de batardeau.

Le type de liaison (appuis simples, rainures, ancrages mécaniques ou autres) est un paramètre plus secondaire, non considéré ici.

3.2 Schéma d'identification des familles de batardeaux

Le schéma qui suit reprend les critères définis ci-dessus, et permet de définir les familles de batardeaux que nous avons choisies. Les cheminements aboutissent à des lettres, qui sont le nom des familles de batardeaux que le lecteur peut retrouver dans les chapitres II et III. Les arbres n'aboutissent pas dans un ordre alphabétique, car les lettres ont été attribuées plutôt en fonction de la fréquence d'utilisation actuelle de la famille de batardeau, afin d'être décrites dans cet ordre au chapitre II.

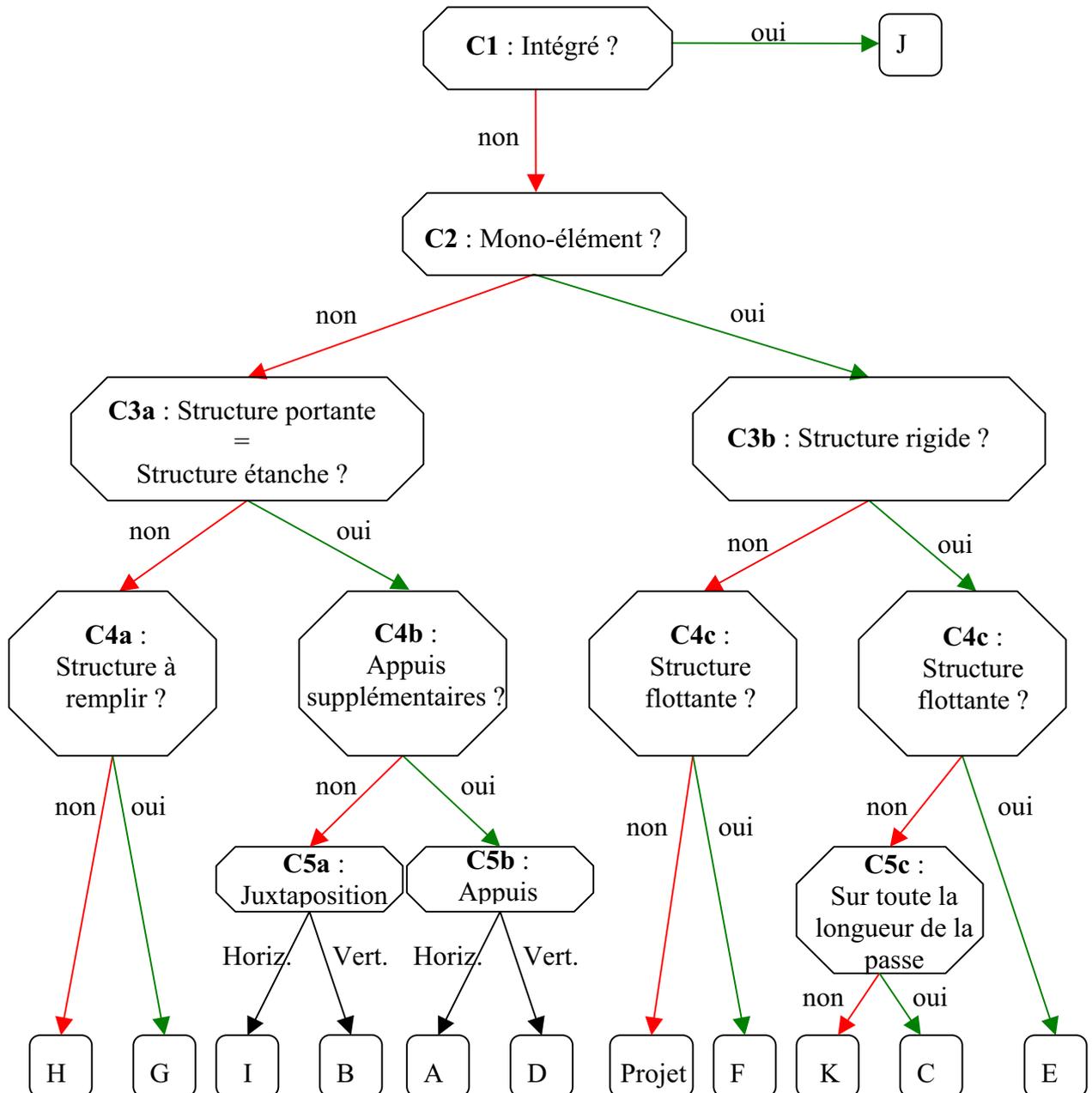


Figure 1 : Schéma de décomposition en famille de batardeaux

3.3 Cheminement de décomposition en familles

Le cheminement choisi pour la détermination des familles de batardeaux est le suivant :

1. **Critère 1 : Batardeau intégré ?**

Le fait que le batardeau soit intégré ou non est le premier critère choisi de différenciation entre les batardeaux. → **Famille J : Batardeaux intégrés.**

2. **Critère 2 : Mono-élément ?**

Le deuxième critère est le nombre d'éléments constituant le batardeau ou plutôt le fait que celui-ci soit composé d'une seule « pièce » ou de plusieurs éléments.

3. **Critère 3 :**

La question posée au critère 3 dépend de la réponse au critère précédent c'est-à-dire si le batardeau est composé d'une seule pièce ou non.

Critère 3a : Structure portante = structure étanche ?

Dans le cas où le batardeau est composé de plusieurs éléments, les rôles de portance et d'étanchéité peuvent être joués par les mêmes éléments ou au contraire par des composants distincts qui ont chacun un rôle soit de résistance soit d'étanchéité.

Critère 3b : Structure rigide ?

Dans le cas d'un batardeau composé d'un seul élément, la question précédente de savoir si la structure portante est également étanche est inutile (il doit évidemment jouer tous les rôles).

En revanche, la rigidité de la structure influence le comportement du batardeau. En effet, suivant que la structure est souple (composée d'une membrane par exemple) ou au contraire rigide, le comportement face aux efforts est très différent.

4. **Critère 4 :**

À nouveau, la question posée au critère 4 dépend de la réponse au critère précédent.

Critères 4a : Structure à remplir ?

Dans le cas d'une structure où les rôles de structure et d'étanchéité ne sont pas joués par les mêmes éléments, on peut trouver deux types de batardeau au fonctionnement mécanique différent selon qu'il s'agit d'une structure à remplir par un autre matériau (agrégats, eau, ...) ou d'une structure qui soutient une membrane étanche.

Dans le cas où le batardeau est composé d'une structure à remplir

→ **Famille G : Batardeaux à remplir d'eau ou d'agrégats**

Sinon

→ **Famille H : Batardeaux avec structure soutenant une membrane étanche**

Critère 4b : Appuis supplémentaires requis ?

Dans le cas d'une structure où la portance et l'étanchéité sont jouées par les mêmes éléments, il s'agit en général de la juxtaposition d'éléments. Un des points de différenciation est la présence d'appuis supplémentaires autres que les appuis directs sur le génie civil.

Dans le cas où il n'y a pas d'appuis supplémentaires, la différenciation réside dans le mode d'agencement des éléments. En effet, cette juxtaposition peut être verticale ou horizontale. On a alors recours à un 5^{ème} critère de différenciation :

Critère 5a : Juxtaposition ?

Dans le cas d'une juxtaposition horizontale (les éléments sont placés les uns à côtés des autres)

→ **Famille I : Structures auto étanches**

Dans le cas d'une juxtaposition verticale (les éléments sont placés les uns au-dessus des autres)

→ **Famille B : Batardeaux à poutres**

Critère 5b : Appuis supplémentaires ?

Si un ou plusieurs appuis supplémentaires sont présents, ceux-ci peuvent être soit verticaux, soit horizontaux.

Dans le cas d'appuis horizontaux → **Famille A : Batardeaux à aiguilles**

Dans le cas d'appuis verticaux → **Famille D : Batardeaux à poutrelles**

Critère 4c : Structure flottante ?

- ❖ Dans le cas de batardeaux composés d'un seul élément, à structure non rigide, le fait que la structure soit flottante constitue le dernier critère de différenciation de ce groupe.

Dans le cas d'une structure flottante → **Famille F : Batardeaux gonflables**

Dans le cas d'une structure non flottante → **Projet : Batardeaux membranaires.**

Cette dernière famille de batardeaux est apparue lors de la création du schéma de classification des batardeaux. Après quelques recherches et réflexions, il semble que ce type de batardeaux n'existe pas encore sur le marché mais semble intéressant à développer. Une étude¹ sur la faisabilité d'un batardeau de ce type a été effectuée à l'ANAST pour le compte de VNF, dont les conclusions principales sont reprises en annexe à ce document.

- ❖ Dans le cas de batardeaux composés d'un seul élément, à structure rigide, le fait que la structure soit flottante constitue également le dernier critère de différenciation de ce groupe.

Dans le cas d'une structure flottante → **Famille E : Batardeaux flottants**

Dans le cas d'une structure non flottante, une dernière différenciation peut se faire pour savoir si le batardeau occupe toute la longueur de la passe (comme c'est généralement le cas) ou si il est destiné à une réparation locale.

Critère 5c : Sur toute la longueur de la passe ?

Si le batardeau occupe la longueur de la passe → **Famille C : Batardeaux plaque**

Si le batardeau n'occupe pas toute la longueur de la passe
→ **Famille K : Batardeaux ventouse**

¹ Étude de faisabilité de la création d'un nouveau concept de batardeau membranaire, ANAST, ULg, 2005

3.4 Récapitulatif

Le tableau suivant donne un récapitulatif des familles définies ci-dessus :

A :	Batardeaux à aiguilles
B	Batardeaux à poutres
C	Batardeaux plaque
D	Batardeaux à poutrelles
E	Batardeaux flottants
F	Batardeaux gonflables
G	Batardeaux à remplir d'eau ou d'agrégats
H	Batardeaux avec structure soutenant une membrane étanche
I	Batardeaux à structures auto étanches
J	Batardeaux intégrés
K	Batardeaux ventouse
Projet	Batardeaux membranaires

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des différentes familles

Compte-tenu de son état de projet, la description de la dernière famille de batardeau (batardeau membranaire, non flottant), est renvoyée en annexe à titre d'information pour les lecteurs curieux.

Chapitre II : Catalogue des batardeaux

Introduction

Structure de l'analyse

L'analyse de chaque famille se fait selon le plan suivant :

- Une description sommaire générale (schéma, photo) ;
- Une analyse détaillée (éventuellement non distincte de la description sommaire suivant le type de batardeaux étudié et les différents points à détailler)
- Des fiches exemples (études de cas pratiques)
- Éventuellement un retour d'expérience identifiant les besoins des exploitants rencontrés de ce type de batardeau
- Une fiche récapitulative reprenant les avantages et inconvénients, les points d'attention particulière comme les limites d'application, et des éléments de coût.

Retour d'expérience

De manière générale, les problèmes rencontrés par les exploitants sont d'abord l'absence de système à l'aval, la sécurité, la vétusté des éléments, le déploiement de moyens pour les systèmes importants et la maintenance du batardeau lui-même.

Les besoins et souhaits des exploitants peuvent ainsi être listés :

- Systèmes étanches et sécurisés ;
- Autres systèmes pour les réservations (des poutres...) pour ne plus que celles-ci s'encrassent;
- Batardeaux simples à utiliser et légers en moyens (personnel et outil);
- Mise en place et entretien des batardeaux aisés ;
- Système de batardage pour tous les ouvrages à l'amont comme à l'aval;
- Résolution du problème de maintenance des batardeaux caissons flottants.

1 Famille A : Batardeaux à aiguilles

1.1 Description sommaire

Il s'agit d'un batardeau composé d'une poutre en tête appuyée sur le génie civil et sur laquelle viennent s'appuyer des éléments verticaux assez fins, les aiguilles. En pied, les aiguilles sont appuyées sur une butée basse dans le génie civil. L'étanchéité est soit assurée par une bonne mise en place des aiguilles qui peuvent comporter des joints élastomères ou non, soit complétée par une membrane (ou restes de tonte d'herbe...).

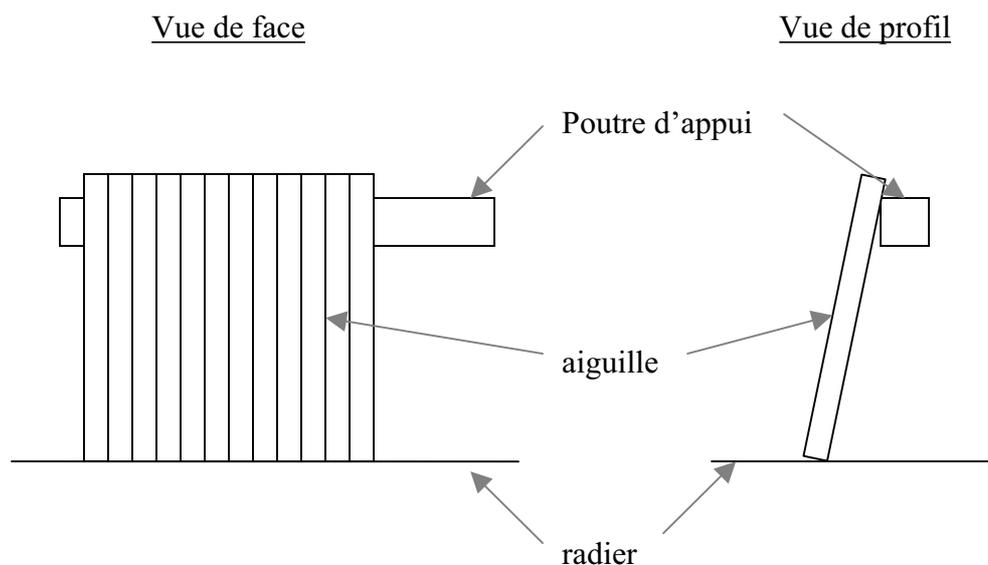


Figure 2 : Schématisation des batardeaux à aiguilles

Cette technique est très largement utilisée. C'est un principe de bouchure ancien mais efficace.

1.2 Description détaillée¹

Il existe deux grandes techniques pour appuyer les aiguilles en tête : soit sur une poutre flottante, soit sur 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 très important.

1.2.1 Les aiguilles

Les aiguilles peuvent être en bois, en acier, en aluminium, rondes ou carrées. Les aiguilles modernes se présentent sous la forme de profilés aluminium en forme de H. Les terminaisons des semelles sont spéciales pour permettre l'accroche de deux profilés contigus.

Le dimensionnement des aiguilles aboutit à des flèches souvent importantes. Cette déformation des aiguilles a un impact psychologique négatif sur les opérateurs même si le risque n'est pas réel.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, ISM, Avril 2004

Les problèmes posés par les aiguilles sont les suivants:

- Tant que le rideau n'est pas mis en pression, celui-ci n'est pas stable ;
- Beaucoup de personnel est nécessaire pour le même jour ce qui demande une planification délicate ;
- La fermeture du rideau est délicate ;
- La remise en eau de la passe n'est pas facile ;
- La sécurité des personnes est difficile à assurer ;

Le génie civil des piles est rarement droit. L'étanchéité latérale du rideau d'aiguilles est un point d'attention particulière, souvent très perfectible.

1.2.2 La poutre

La poutre peut être :

- Flottante et stockée amarrée à un quai ;
- Mobile mais fixée au génie civil de la passe ;
- Fixe : la passerelle piétonne, ou un caisson stocké sous celle-ci, sert de poutre d'appui.

Les poutres flottantes

Ce type de poutre se présente sous la forme d'un parallélépipède rectangle. Le fond et les côtés sont étanches. Le dessus est ouvert de trous d'homme qui servent de trappes de visite et d'orifices de remplissage. Une fois en position, elle est remplie d'eau pour prendre appui sur le génie civil. Elles doivent être équipées de garde-corps escamotables des deux côtés.

Les poutres mobiles fixées au génie civil de la passe

Il s'agit d'une poutre-passerelle équipée de garde-corps. Elle peut :

- soit servir de passerelle piétonne en position normale ; dans ce cas le tirant d'air imposé par le passage des flottants est souvent trop important pour que des aiguilles de taille raisonnable soient utilisées pour la batardage. Dans ce cas la passerelle s'abaisse pour en une position de batardage, soit par crémaillère, soit par treuil, soit par vérins ;
- soit être pivotante, stockée sur la culée ou la pile et mue par crémaillère.

1.2.3 Mise en place

La poutre est amenée en position sur le génie civil, puis les aiguilles sont placées une à une en partant du génie civil, éventuellement de chaque côté. Un faible courant facilite la mise en place en entraînant les aiguilles sur la butée de pied. La fermeture du rideau est souvent effectuée par une aiguille particulière, de plus grande section (un madrier) permettant de rattraper les défauts géométriques.

La mise en place est assez longue et requiert un nombre important de personnes formées. En revanche, le matériel nécessaire est léger.

La largeur de ce système n'est contrainte que par la longueur maximale de la poutre. Une poutre peut s'adapter à des largeurs de passe légèrement différentes. La hauteur maximale de retenue est de l'ordre de 6 m.

1.2.4 Améliorations possibles du système

Membrane d'étanchéité

L'ajout d'une membrane d'étanchéité permet d'augmenter l'étanchéité du batardeau.

Étanchéité latérale

Pour augmenter l'étanchéité latérale des aiguilles contre le génie civil, une solution est d'ajouter un blindage d'acier sur le béton. Il permettra:

- D'assurer une étanchéité latérale meilleure et fiable ;
- De démarrer bien vertical le rideau d'aiguilles afin de réduire les défauts à la jonction des deux demi-rideaux.

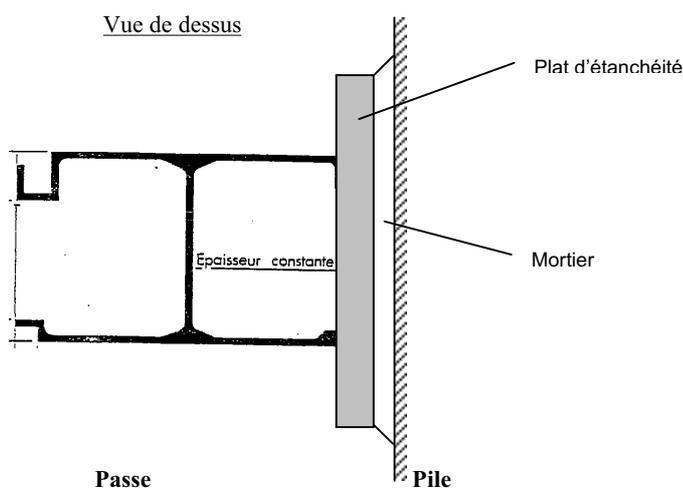


Figure 3 : Amélioration de l'étanchéité latérale des aiguilles¹

Étanchéité à la jonction des rideaux d'aiguilles

La fermeture du rideau d'aiguilles par madrier ou un autre outillage n'est pas étanche. En effet, les semelles aval des aiguilles assurent l'étanchéité alors que l'outillage ferme les semelles amont.

La fuite se situe en bas, entre le radier et le pied des aiguilles à cause de l'inclinaison de celles-ci.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, ISM, Avril 2004

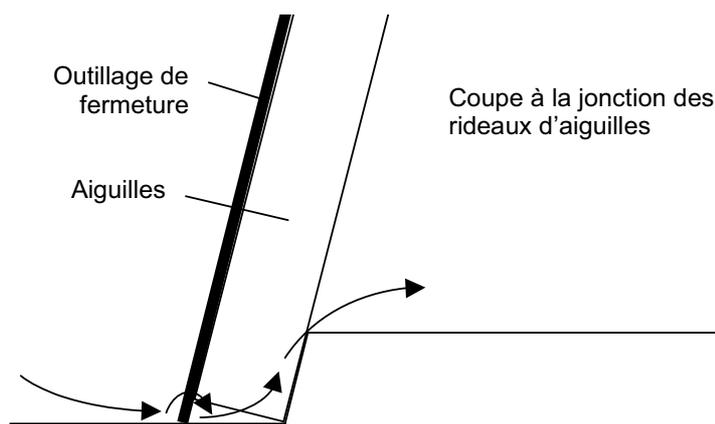


Figure 4 : Problème d'étanchéité dans le bas du batardeau¹

Une solution serait l'utilisation d'une pièce en caoutchouc en triangle d'un mètre de long placée sous les aiguilles centrales. Elle devra s'adapter à toutes les inclinaisons possibles des aiguilles. Elle sera placée sur le radier par le plongeur avant la pose des aiguilles et donc sera de densité supérieure à 1. Les plongeurs sont systématiquement associés aux batardeaux et débatardeaux, cette opération n'occasionne donc pas de surcoût.

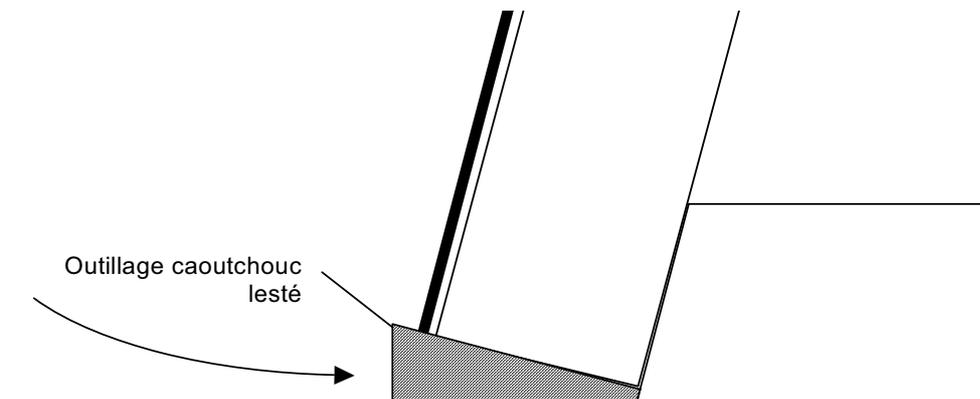


Figure 5 : Solution contre le problème d'étanchéité en pied¹

Création d'outillage et fermeture des rideaux (d'aiguilles)

Le madrier utilisé actuellement sur la Moselle n'est pas très adapté.

- Les remises en eau dégradent le madrier et sa résistance ne peut plus être garantie
- Étant plus léger que l'eau, sa mise en place n'est pas pratique.

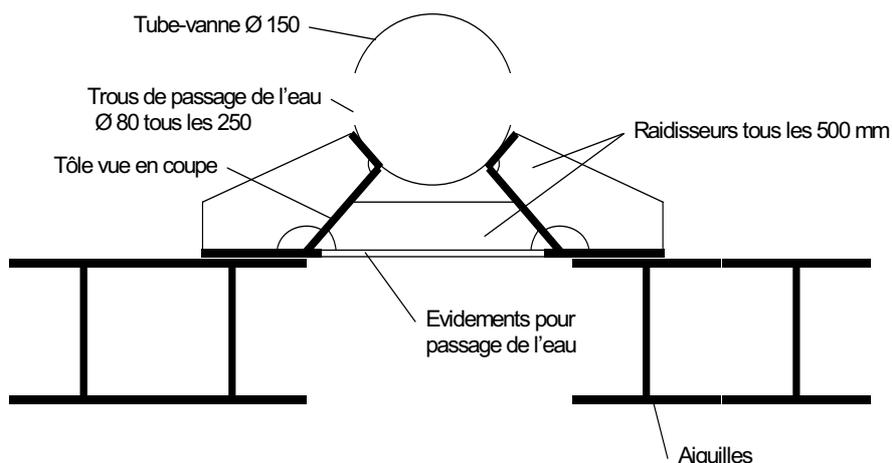
Une proposition d'outil (voir schémas ci-dessous) résout ces problèmes :

- L'outil est plus lourd que l'eau, donc la mise en place se fait par gravité.
- La mise en eau de la passe ne sollicite pas mécaniquement l'outil
- Une vanne est intégrée pour faciliter le remplissage

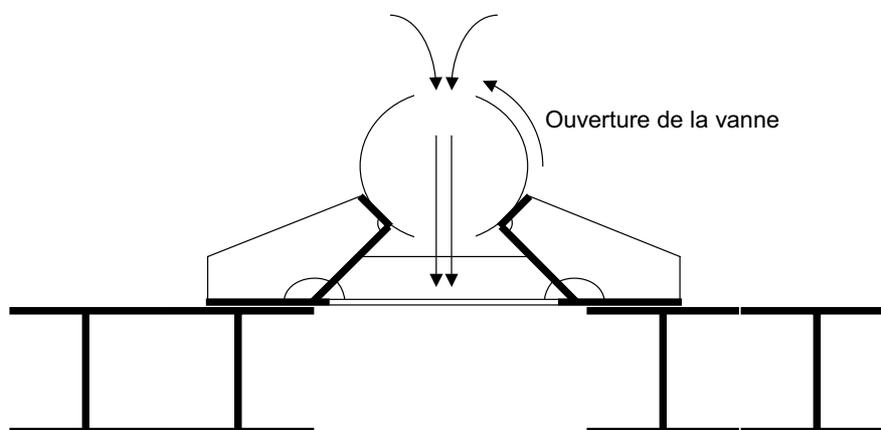
Il s'agit d'une plaque de fermeture prévue pour recevoir un cylindre. Ce cylindre peut tourner pour retenir ou laisser passer l'eau.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Etude de faisabilité, ISM, Avril 2004

- Position batardeau :



- Position remplissage :



- **Description**

L'outillage est constitué de deux pièces indépendantes : le support et le tube.

Le tube est un tube aluminium ou acier percé régulièrement par des Ø 80. Le trou supérieur servira aussi de passage à une barre de manœuvre. En acier ép. 1.5, la masse du tube est inférieure à 30 kg.

Le support est en tôle d'aluminium épaisseur 3, soudée. Il est constitué par un bordé évidé tous les 500 mm pour laisser l'eau passer. Deux tôles en L (pliées) réalisées d'un seul tenant sont soudées sur le bordé. Elles servent de support au tube. L'étanchéité est assurée métal contre métal.

Régulièrement, des raidisseurs procurent la résistance au support.

Le support pèserait entre 25 et 30 kg. Les masses précédentes sont calculées pour une hauteur de retenue d'eau de 6.4 m.

Pour que le système fonctionne, il faut que la flèche du support et du tube sous la pression d'eau soit supérieure à la flèche des aiguilles.

- **Mise en oeuvre**

Les masses permettent le transport et la mise en place par deux personnes.

Mise en place : une fois le rideau d'aiguilles terminé, le support est posé à cheval sur les deux dernières aiguilles. Puis le tube est placé à son tour sur le support, les trous parallèles au rideau d'aiguilles.

Démontage : la passe est vide, et l'eau faisant pression, le tube ne peut être enlevé directement. À l'aide d'une barre, passer dans l'un des trous et tourner le tube de 90°. Alors la passe se remplit et quand l'égalité de niveau est atteinte, tous les éléments peuvent être sortis de l'eau sans problème. L'effort de manœuvre avec un niveau d'eau maxi est estimé à 2000Nm soit 100 kg à 2 m. Ce couple pourra être obtenu avec un remorqueur, un tire fort ou un bras de levier plus long.

1.2.5 Analyse de quelques points supplémentaires¹

Poutres de tête amovibles des batardeaux à aiguilles

Le temps de mise en place de ces poutres n'est souvent pas anodin face au temps de pose des aiguilles. Il est en particulier plus important que pour des poutres flottantes (?).

Toutes les poutres devraient être équipées de garde-corps, ce qui n'est pas le cas.

Les poutres de tête flottantes des batardeaux à aiguilles

Cette solution paraît satisfaisante. Néanmoins, elle pose les problèmes suivants :

- Nécessite un lieu de stockage;
- Les poutres doivent être maintenues, y compris l'intérieur (problème de corrosion).

1.2.6 Maintenance

Tri des aiguilles

Les aiguilles vieillissent, se corrodent, subissent des chocs et des déformations permanentes tout au long de leur utilisation. Le tri est nécessaire, il permet :

- De vérifier la résistance des aiguilles pour la prochaine décennie
- D'éviter les défauts géométriques induisant des problèmes de montage et d'étanchéité.

Les défauts possibles sont les suivants :

- Défaut de rectitude générale de l'aiguille suivant x et y. Une aiguille tordue ne pourra pas être montée dans le rideau et ne peut être conservée ;
- Parallélisme des deux semelles : l'aiguille sera fuyante ou ne pourra pas être montée ;
- Déformation en quinconce : elle peut créer des problèmes de montage mais n'est pas facile à mesurer ;
- Déformation localisée des semelles ;
- Perte générale d'épaisseur : celle-ci doit être limitée ;
- Corrosion par crevasse. Il n'est pas facile d'estimer l'impact de tels défauts. Outre la diminution de section, un haut niveau de contrainte apparaît au bord de la crevasse et peut entraîner la fissuration du métal. Ce défaut sera à traquer là où la contrainte est naturellement la plus forte, c'est-à-dire sur les semelles au centre de l'aiguille.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, ISM, Avril 2004

- La dégradation des extrémités : l'extrémité des aiguilles est faiblement chargée. Elles ne devront donc pas être jugées avec trop de sévérité.

1.3 Exemples

1.3.1 Batardage à aiguilles sur la Moselle



Figure 6 : Poutre flottante d'Argangy (Moselle)

Mise en place de la poutre flottante

Exemple de mode opératoire de mise en place de la poutre :

- 1) Remorquage de la poutre de son lieu d'amarrage vers l'amont du barrage.
- 2) Mise en place finale à l'aide de cordes.
- 3) Coulage par pompage d'eau du cours d'eau vers les caissons de la poutre. La poutre coule et vient se poser sur le génie civil.
- 4) Démontage des garde-corps côté amont pour faciliter la pose des aiguilles.

Mode opératoire d'enlèvement de la poutre :

- 1) Remise en place des garde-corps.
- 2) Remise en eau par vidage de la poutre. Elle se remet à flotter.
- 3) Remorquage de la poutre vers son lieu de chômage.

Mise en place des aiguilles

- 1) Chargement sur une barge.
- 2) Remorquage de la barge contre la poutre d'appui mise en position.
- 3) À partir d'un des bajoyers, création d'un rideau d'aiguilles de la moitié de la passe.
- 4) En partant de l'autre bajoyer, création de l'autre moitié du rideau.
- 5) L'espace restant entre les deux rideaux (maximum 140 mm) est obstrué par un madrier de bois.

La première aiguille doit être réglée verticale. Elle peut donc ne pas être au contact avec le génie civil.

La mise en place du madrier final n'est pas aisée car les aiguilles ont tendance à remonter à la surface tant que le rideau n'est pas mis en pression. Le madrier est parfois remplacé par une aiguille ou plusieurs empilées.

La présence de plongeurs, pour la pose des aiguilles est difficilement évitable. Ils favorisent la bonne mise en place du rideau. En outre, ils interviennent pour le nettoyage du radier, des bajoyers, et pour l'aide à la pose des aiguilles.

Une fuite importante de la vanne pose un problème pour la pose des dernières aiguilles. En effet, le courant devient très important et l'aiguille en cours de pose est emportée par le courant. Il existe aussi un risque accru pour les plongeurs qui peuvent être aspirés vers l'aval du rideau d'aiguilles.

Mode opératoire d'enlèvement du rideau :

- 1) Le madrier est retiré pour remplir rapidement la passe.
- 2) Une fois l'équilibre des niveaux atteints, les aiguilles sont retirées une à une et replacées dans la barge.
- 3) La barge est remorquée jusqu'à l'atelier où elle est déchargée.

Une méthode utilisée pour retirer les madriers consiste à tirer dessus à l'aide du remorqueur. Cependant, cette méthode n'est pas satisfaisante, car elle endommage le madrier. Ainsi, la résistance du madrier ne sera plus optimale pour le batardage suivant. Dans le cas des aiguilles, cela conduit à tordre l'aiguille de fermeture.

1.3.2 Batardeaux à aiguilles (Marklendorf - Allemagne)

Il y a de nombreuses variantes concernant les aiguilles. Le bois est peu à peu remplacé par de l'aluminium pour ses avantages de légèreté et de non corrosion.

La particularité du batardeau de Marklendorf est que les aiguilles sont de section ronde.



Figure 7 : Aiguilles à section ronde

1.3.3 Batardage amont sur la Saône (Section à grand gabarit)¹

Description



Figure 8 : Photo du batardeau amont à poutre flottante et aiguilles

Les barrages de la Saône sont assez standards, et comportent des passes de 35 m de large. De ce fait, le batardeau est utilisable sur plusieurs barrages.

Composition

Le batardeau amont est composé :

- d'une poutre flottante de 35,5 m de long, 2,8m de large et 1,23m de haut ;
- d'aiguilles en aluminium de 4m de hauteur sur 10cm pour les barrages de Pagny et Charnay (350 pièces) et de 6m sur 10cm pour les barrages de Dracé, Ormes et Couzon (290 pièces) ;

¹ Batardage des barrages de la Saône, Section à Grand Gabarit, Mode opératoire

- d'une membrane polyane pour assurer l'étanchéité.

Mise en place

- Visite par plongeur du seuil d'appui des aiguilles;
- Mise en place et suspension de la poutre à l'aide de 2 potences situées sur les piles, de 2 treuils et de moufles de manutention situées sur la poutre en extrémité;
- Liaison de la poutre au génie civil par un système de suspente articulée type cardan;
- Mise en place des aiguilles manuellement: la pose oblige la présence d'un plongeur pour assurer le verrouillage de l'aiguille et l'appui contre le seuil. Ceci implique une bonne coordination entre le plongeur et l'agent, situé sur la poutre, qui présente et pose l'aiguille;
- Mise en place d'une feuille de polyane (40m x 6m) pré-enroulée sur un tube. Cette manipulation nécessite également la présence d'un plongeur;
- Abaissement de la vanne pour mettre en charge complète le batardeau

Plans

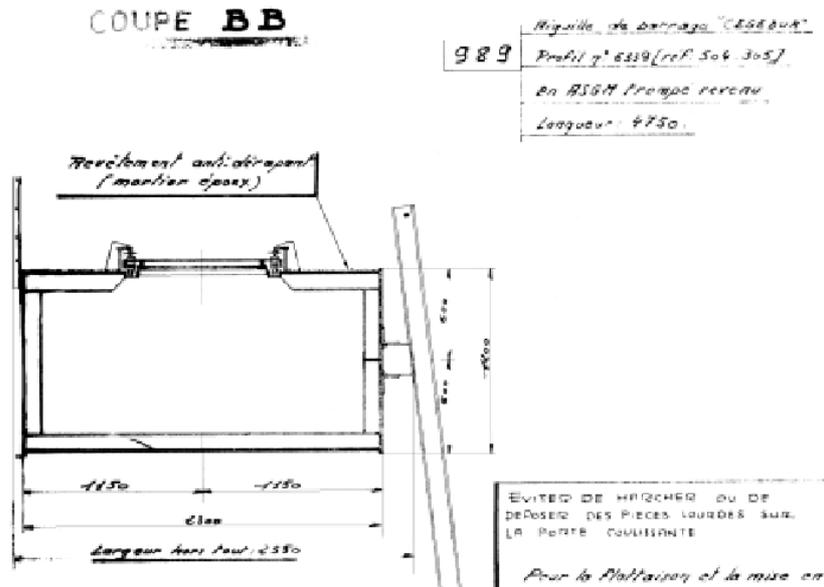


Figure 9 : Coupe transversale

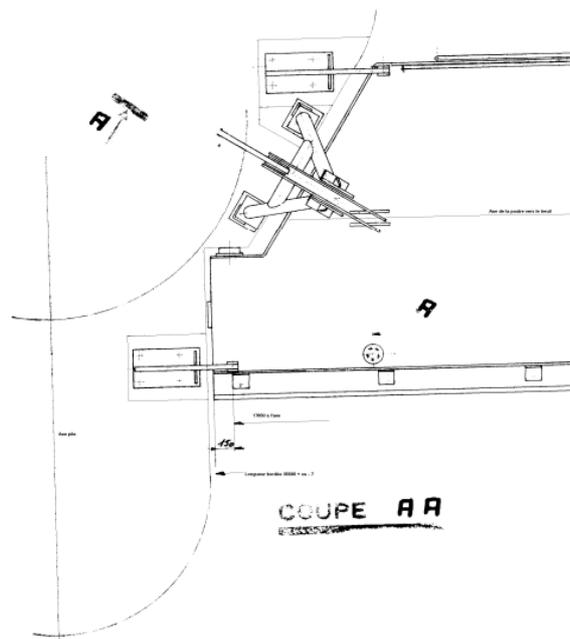


Figure 10 : Coupe longitudinale

1.3.4 Modernisation du système de batardage

Le but de ce paragraphe est de résumer la modernisation des organes de suspension de la poutre de batardage des barrages de la Saône à grand gabarit, pensée afin de sécuriser le personnel et le matériel durant les opérations d'entretien et de maintenance. Les travaux consistent à remplacer les oreilles de suspension et les équipements des têtes de potence et à mettre en place des potences de levage, suivant l'avis des exploitants

Les opérations de batardage et de mise à sec des différentes passes des barrages consistent à mettre entre deux piles une poutre flottante de batardage sur laquelle prennent appui des aiguilles jointives (en aluminium). Ces aiguilles prennent aussi appui sur le seuil du radier des barrages. La poutre est suspendue aux piles par l'intermédiaire des oreilles de suspension implantées sur les plates-formes (en béton). Le principe de batardage par aiguilles et poutrelles est un système éprouvé et satisfaisant. Pour l'améliorer et faciliter l'exécution des opérations de batardage, des potences de levage devraient équiper chaque passe pour éviter les manutentions et déplacements contraignants.

La poutre flottante de batardage est équipée de deux treuils de levage et de chapes pour pouvoir être suspendue. Elle est mise en place par flottaison entre deux piles sur lesquelles elle vient prendre appui horizontalement pour reprendre la poussée horizontale des eaux.

Elle est suspendue aux piles pour reprendre son propre poids et celui des équipements.

L'opération de mise en place se déroule de la manière suivante :

- présentation de la poutre par flottaison entre les deux piles. La poutre prend appui horizontalement ;
- levage de la poutre pour qu'elle soit déjaugée. Cette manœuvre consiste à suspendre la poutre à deux potences métalliques fixées aux piles du barrage ;
- suspension de la poutre aux oreilles fixées dans la pile ;
- détention des deux moufles afin que le poids propre de la pile ne soit repris que par les oreilles de suspension.
- La poutre dans cette position est prête à recevoir les aiguilles.

1.4 Retour d'expérience

Ce système est assez couramment utilisé comme batardeau amont mais il peut présenter un problème de sécurité. Un sentiment d'insécurité lié à la mauvaise étanchéité d'un batardeau à aiguilles et à la crainte de ruptures d'aiguilles en bois souvent vieilles peut se rencontrer. Dans certains cas les aiguilles sont recouvertes d'une membrane étanche ce qui résout en partie le problème d'étanchéité du batardeau mais pas celui d'insécurité lié à la rupture d'une aiguille.



Figure 11 : Problème de non-étanchéité de bouchure à aiguilles augmenté par la vétusté des systèmes¹

Besoins

- Étanchéité ;
- Sécurité ;
- Aiguilles non vétustes ;

¹ Barrage de la Forêt (Yonne)

1.5 Fiche récapitulative

Batardeaux à aiguilles



Avantages	Inconvénients
<p>Système bien connu et éprouvé</p> <p>Simplicité apparente de mise en place</p> <p>Pas de limitation de longueur</p> <p>Ne nécessite pas beaucoup de moyens matériels (installation manuelle)</p> <p>Système durable</p> <p>Coût réduit (à la construction)</p> <p>Éléments faciles à déplacer d'un site à l'autre</p> <p>Aiguilles utilisables pour plusieurs sites ayant des hauteurs de retenue différentes</p>	<p>Sentiment d'insécurité</p> <p>Mauvaise étanchéité (étanchéité supplémentaire à prévoir)</p> <p>Problème d'étanchéité latérale</p> <p>Danger de rupture des aiguilles</p> <p>Présence de plongeurs (plus risque d'aspiration des plongeurs si la fuite de la vanne est trop importante)</p> <p>Temps de mise en place important</p> <p>Problème de fiabilité dû au nombre d'éléments (probabilité d'accident plus importante)</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>Généralement pour batardeau amont</p> <p>Pas de limitation de longueur</p> <p>La hauteur de retenue est limitée par la dimension des aiguilles, leur longueur et leur poids à cause de leur mise en place</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les aiguilles en bois (2 à 3m de retenue), aiguilles de 8 x 15m; 10 x 10m, 10 x 20cm (longueur 3 à 4 m) • Les aiguilles en aluminium (3 à 6m de retenue max.), aiguilles de 10 x 20cm 	

2 Famille B : Batardeaux à poutres ou à panneaux

2.1 Description des batardeaux à poutres¹

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 parfois munies de galets permettant le batardage en eau vive. Les poutres sont équipées d'étanchéités latérales et inférieures pour l'étanchéité avec la poutre du dessous.

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

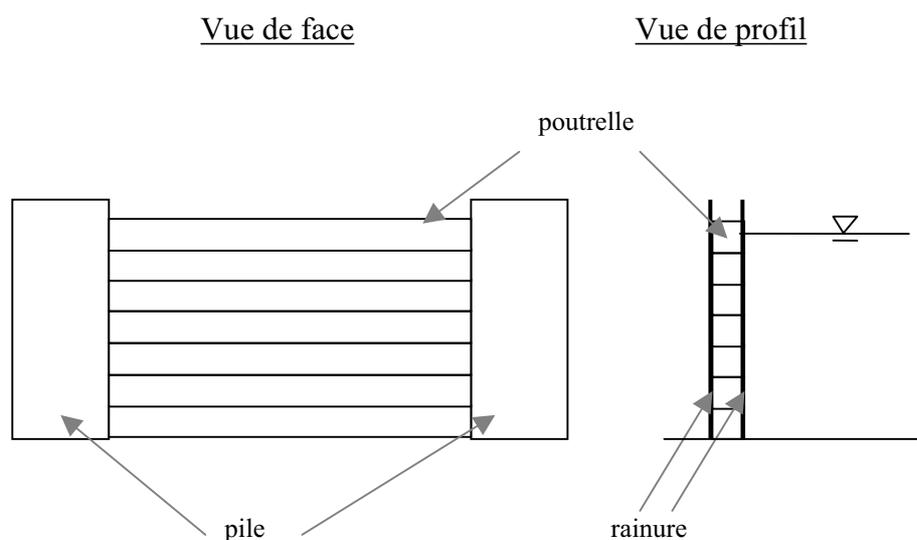


Figure 12 : Schématisation des batardeaux à poutrelles

2.1.1 Analyse critique des batardeaux à poutres empilées

Cette solution paraît satisfaisante. Cependant :

- Un problème de résonance peut être observé lorsque la fermeture est quasi complète ou à l'ouverture, en raison d'un débit important qui s'infiltré sur une petite hauteur. Cela ajoute une contrainte dynamique dans la structure. Le personnel doit faire en sorte de franchir rapidement cette résonance.
- Un interlocuteur a émis des doutes quant à la faisabilité du batardage en eau vive en toute sécurité.

Ce moyen de batardage demande des moyens de levage lourds et donc, il est difficile à mettre en place dans des ouvrages sans gros travaux.

L'étanchéité est jugée moyenne.

Ces poutres servant aussi pour circuler d'une pile à l'autre, il faut des garde-corps sur la poutre supérieure.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Etude de faisabilité, Diagnostic et connaissances des sites, ISM, Juillet 2003.

2.2 Description des batardeaux à panneaux

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 (schéma Figure 13).

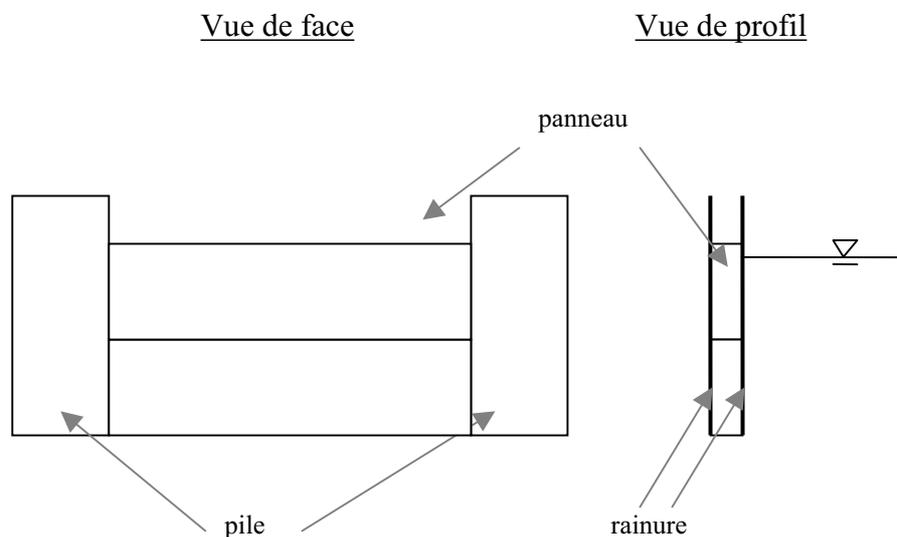


Figure 13 : Schématisation d'un batardeau à panneaux



Figure 14 : Batardeau de type panneau (Saône)¹

Il est également possible que les poutres soient regroupées entre elles pour former des sortes de panneaux.

¹ Batardeau modulaire de la Petite Saône, JJ Millerand

2.3 Exemples

2.3.1 Batardeaux passerelles (Flandre – Belgique)

Les batardeaux utilisés en Flandre sont des structures en treillis soutenant un platelage de 12,5 m de long et de 1 m de haut. Le concept innovant de ces batardeaux est qu'en conditions d'exploitation normales, ils servent de passerelles aux ouvrages. Ces structures peuvent également servir de pontons flottants.

Vues les dimensions du batardeau (1m de haut), il faut donc utiliser plusieurs structures batardeau-passerelle pour batardeau une passe ; la standardisation des passes à la dimension de 12,5m, permet d'utiliser les autres batardeaux-passerelles disponibles sur les passes voisines ou sur les autres barrages.

Les exploitants sont ravis de ce système et le standardisent à tous les nouveaux ouvrages.



Figure 15 : Batardeau-passerelle (barrage de Menen, Belgique)¹

¹ Barrage de Menen est exploité par le LIN (Ministère flamand de l'équipement et des transports)

2.3.2 Batardeaux à panneaux de la Saône

Il s'agit de panneaux ondulés raidis s'empilant dans les rainures des écluses.



Figure 16 : Batardeau plaque (Charentera y sur la Saône)

2.4 Fiche récapitulative

Batardeaux à poutres - panneaux	
	
Avantages	Inconvénients
<u>Batardeaux à poutres</u>	
<p>Extrémités avec galets pour le batardage en eaux vives</p> <p>En principe pas de plongeur</p> <p>Théoriquement utilisable sur plusieurs sites mais difficultés de transport</p>	<p>Nécessité de moyens lourds pour la mise en œuvre (transport, levage)</p> <p>Possibilité de problèmes de résonance (eau entre les poutrelles pendant le soulèvement)</p> <p>Difficulté de faire descendre les poutres (frottement sur les piles en présence du courant)</p> <p>Difficulté d'accrochage/déaccrochage des poutres (pour les enlever)</p> <p>Étanchéité meilleure qu'avec des aiguilles mais pas parfaite (complément d'étanchéité ou système continu de pompage)</p>
<u>Batardeaux à panneaux</u>	
<p>Bonne étanchéité</p> <p>Fiable</p> <p>Grands éléments</p> <p>→ temps de mise en œuvre diminuée</p> <p>→ meilleure étanchéité (moins de joints)</p>	<p>Poids important</p> <p>Mise en place nécessite des moyens importants (transport, levage)</p> <p>Guidage dans rainures parfois difficile</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance et de secours ; Pour l'amont et pour l'aval</p> <p>Portée limitée par la dimension des poutres ou des panneaux (poids) et la retenue (pression). Portées max. : poutres en bois : 3 à 5m, poutre en aluminium : 5 à 15m, panneaux raidis : 10 à 25m, éléments en tôles ondulées: 5 à 10 m</p>	

3 Famille C : Batardeaux plaque

3.1 Description

Le batardeau plaque ressemble très fort au batardeau à panneau excepté que celui-ci est constitué d'une seule plaque comme son nom l'indique. Il fait donc partie des batardeaux composés d'un seul élément.

Les batardeaux plaque pourraient être assimilés à des batardeaux panneaux ou un seul panneau serait nécessaire.

Comme sur l'exemple suivant, le batardeau plaque peut être constitué de plusieurs panneaux solidarisés entre eux pour former un seul élément.

3.2 Exemples

3.2.1 Batardeaux à éléments modulaires (Subdivision de Gray)¹

Bien que composés d'éléments afin d'être utilisable sur plusieurs ouvrages, en particulier des écluses, ce batardeau fait partie de la famille C car l'assemblage se fait avant la pose. Celle-ci correspond donc bien à la mise en place d'un seul élément.

Description

Le batardeau doit permettre la vidange (batardage) d'écluses et de passes de barrages mobiles.



Figure 17 : Installation du batardeau modulaire²

Concept

Les éléments modulaires des batardeaux doivent permettre la combinaison de différents assemblages pour le batardage :

- De passes mobiles (clapets) : entre axe 10,4m. Les batardeaux prennent appui sur des structures en béton ou en maçonnerie ;
- D'écluse hors sas : entre des appuis 10,2m. Les batardeaux prennent appui sur des structures en béton ou en maçonnerie ;

¹ Dimensionnement, fabrication, Livraison d'éléments modulaires de batardeaux, Cahier des clauses techniques particulières, Subdivision de Gray

² Batardeau modulaire (Petite Saône) JJ Millerand

- De sas d'écluse : d'une ouverture de 6,4m. Les batardeaux sont glissés dans des rainures, entre axes 6,8m;
- De sas d'écluse : d'une ouverture de 5,2m. Les batardeaux sont glissés dans des rainures, entre axes 5,7m.

Les hauteurs d'eau à retenir varient entre 3 et 6m.

Afin de minimiser le poids des structures à manutentionner et limiter le nombre d'éléments de batardeaux, ces derniers seront constitués d'éléments modulaires permettant une adaptation aux différentes hauteurs d'eau, types d'appui et entre axes.

Les différentes configurations sont :

- 4 types de modules :
 - grand module principal (A) de 3m de haut sur 4.8m de large ;
 - petit module principal (B) de 1.5m de haut et 4.8m de large ;
 - grand module latéral (C) de 3m de haut sur 1.2m de large ;
 - petit module latéral (D) de 1.5m de haut et 1.2m de large ;
- 12 types de pièces d'appui ;
- 3 types de pièces d'assemblage.

Les assemblages des différents éléments modulaires se font par boulonnage.

Les modules sont équipés d'oreilles de levage : 3 pour les modules principaux et 1 pour les latéraux.

Les grands modules principaux sont équipés de 2 vannes de 500 mm sur 500 mm.

Les modules sont équipés de systèmes d'étanchéité en néoprène.

Exploitation

L'utilisation de ce batardeau demande une semaine de préparation car il y a un grand nombre de boulons à placer. Ce travail ne se fait pas sur le site.

De plus, les moyens à mettre en œuvre sont assez conséquents: grues, personnel important...



Figure 18 : Moyens importants (hommes et machines) pour l'utilisation du batardeau¹

¹ Batardeau modulaire (Petite Saône) JJ Millerand

3.2.2 Batardeau de maintenance et de secours sur la Seine

Pour un barrage à vanne levante de trois passes de 30m de long et 7 m de hauteur de retenue sur la Seine (barrage de Chatou), un système de batardeage de maintenance et de secours à demeure est prévu. Il est composé d'une imposante structure actionnée par des chaînes gallees et est utilisable pour les trois passes grâce au système de translation.



Figure 19 : Batardeau pour vanne levante (barrage de Chatou)

Ce système de batardeage n'est pas esthétique et ne fait qu'accroître l'impression imposante du barrage.

De plus ce système de batardeage n'a jamais vraiment donné satisfaction et il est prévu de reconstruire ce barrage dans un avenir proche.

3.3 Retour d'expérience

La subdivision de Gray possède un batardeau modulaire de type plaque. Ce batardeau est très utile car il convient pour les barrages et pour les écluses. Le problème majeur de ce batardeau est qu'il demande des moyens assez lourds (Figure 20) en personnel et en outillage pour son montage (2 à 3 jours pour une équipe) et sa mise en place (plusieurs personnes, des plongeurs, une grue).



Figure 20 : Batardeau modulaire (Saône)¹

¹ Batardeau modulaire (Petite Saône) , JJ Millerand

Besoins

- Mise en place plus aisée et moins lourde (en moyens hommes et outils) ;
- Temps de préparation des batardeaux moins important.

3.4 Fiche récapitulative

Batardeaux plaque



Avantages	Inconvénients
Peu d'éléments Facilité de mise en place si en permanence sur génie civil	Coûteux Demande des moyens lourds de mise en place Portée limitée
Gamme d'utilisation	
Batardeau de secours si en permanence sur génie civil	

4 Famille D : Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires

4.1 Description sommaire

Ce type de batardeau est l'évolution du batardeau classique à poutrelles ou à panneaux. Des poteaux intermédiaires en forme de H, le plus souvent logés dans des réservations dans le radier, permettent de batarder de plus grandes passes puisque ils enlèvent la limitation de la taille des poutrelles. Ce principe de batardage est également utilisé avec des panneaux.

Ce mode de batardage est la solution souvent adoptée pour le batardage aval car les hauteurs d'eau à tenir sont faibles vis-à-vis des largeurs de passe.

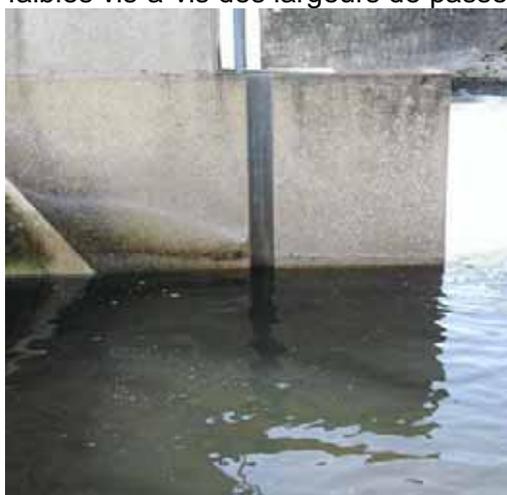


Figure 21 : Rainure pour batardeau à poutrelles (barrage de Vermont)

La photo ci-dessus (Figure 21) représente la rainure effectuée dans la pile pour accueillir les poutrelles. Des réservations sont prévues dans le radier pour recevoir les poteaux intermédiaires.

4.2 Description détaillée

4.2.1 Systèmes de fixation au radier¹

Les moyens de fixation des poteaux au radier diffèrent selon les ouvrages. On distingue trois moyens dont plusieurs variantes sont possibles.

Les rehbocks

Les rehbocks (Figure 22) sont des dents de dissipation de l'énergie hydraulique utilisées aussi pour maintenir les poteaux. Un axe vertical est fixé au-dessus de la dent et un autre au radier.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, Diagnostic et connaissances des sites, ISM, Juillet 2003.

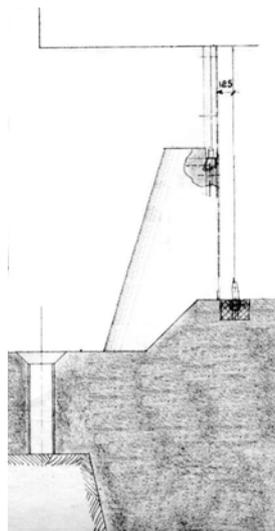


Figure 22 Rehbocks¹

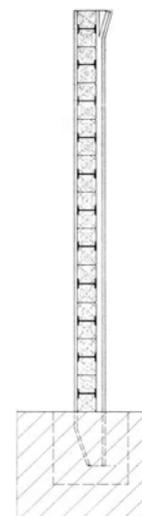
Ce principe très répandu, est néanmoins assez fragile comme en témoigne le nombre de dents de Rehbock détruites qui s'élève à 20 % environ.

Une variante consiste à avoir des dents de dissipation en deux parties où les poteaux se glissent.

Les cavités

Des cavités blindées de la section des poteaux sont aménagées dans le radier. Les poteaux sont placés à l'intérieur et viennent en appui sur le génie civil. Les poteaux sont biseautés en bout pour faciliter leur mise en place.

Quand les cavités ne sont pas utilisées, les cavités sont fermées par des grilles. Cependant, ces grilles sont assez souvent emportées par le courant.



Exemple de mode opératoire de pose :

- 1) Chargement des poteaux et panneaux sur une barge avec grue.
- 2) Les plongeurs vont retirer les grilles, vider les cavités et nettoyer le seuil.
- 3) Mise en place des poteaux à la grue et avec l'aide des plongeurs.
- 4) Mise en place des jambes de force sous l'eau si elles existent.
- 5) Pose des panneaux avec la grue.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Etude de faisabilité, Diagnostic et connaissances des sites, ISM, Juillet 2003

Mode opératoire de dépose :

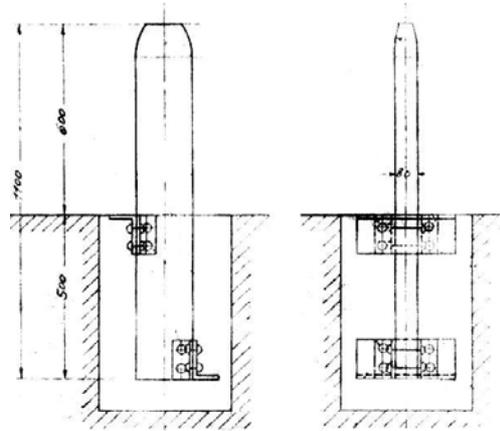
- 1) Soulèvement d'un panneau pour remplir la passe.
- 2) Puis l'inverse des opérations de mise en place.

Les tiges d'acier

Des tiges d'acier rectangulaires sont ancrées dans le radier. Les poteaux sont creux, mais toujours équipés de guides pour les madriers.

Ce dispositif se trouve sur les barrages les plus anciens mais ne semble jamais avoir été utilisé.

Entre les poteaux sont disposés des panneaux ou madriers



4.2.2 Amélioration du système (béquilles de soutien)

Certaines barrières anti-crue sont composées de panneaux ou de poutres rigides placés horizontalement entre des poteaux supportés par des béquilles, et sont donc semblables au batardeau décrit ici. Les panneaux et les poteaux sont généralement en acier pour assurer une meilleure étanchéité.

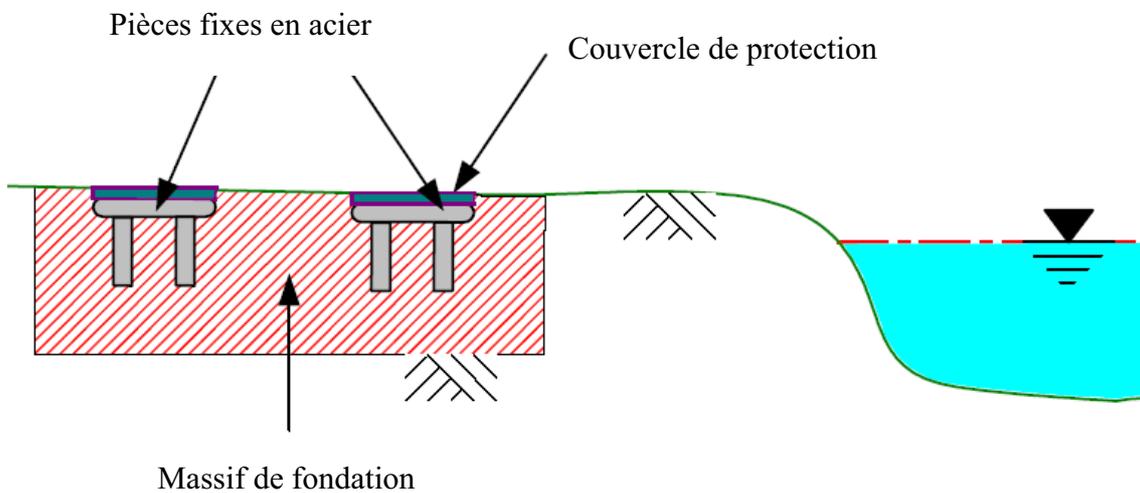


Figure 23 : En condition normale

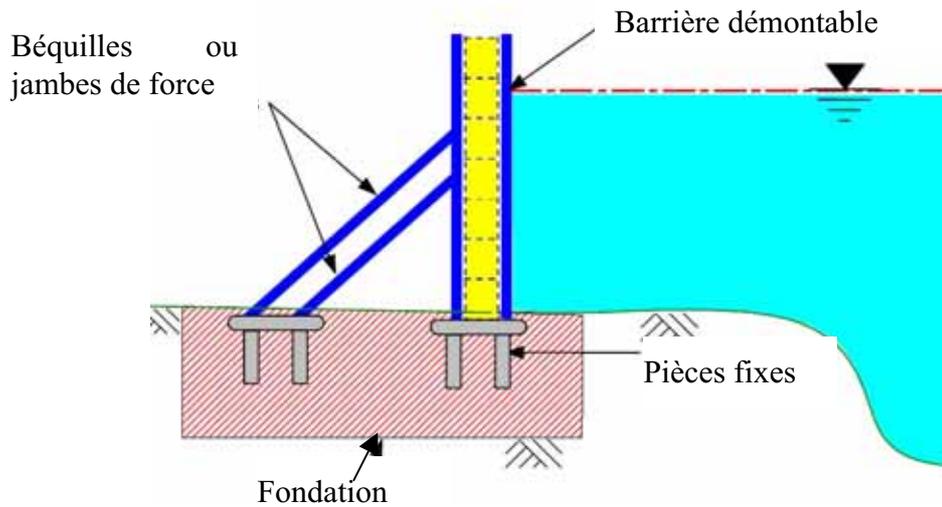


Figure 24 : En période de batardage

Avantages	Inconvénients
Généralement robustes et facilement dimensionnés	Grand espace nécessaire pour le stockage
Bonne résistance aux charges et aux impacts	Transport lourd et système de levage des éléments nécessaire
Très durable	Installation longue
La hauteur peut être augmentée en ajoutant des éléments horizontaux	Les éléments permanents sont sensibles aux dommages et au vandalisme
Peu d'infiltrations à travers et sous la structure	

4.3 Exemples

4.3.1 Batardage sur la Saône (Section à grand gabarit)

Il s'agit de l'application classique de ce type de batardeau.



Figure 25 : Batardeau aval à poutrelle

Composition

Le batardeau aval est composé :

- de 17 pieux en HEB adaptés ;
- de poutrelles bois de 2m x 0.10m x 0.10m pour les barrages de Pagny et Charnay et de 2m x 0.2m x 0.1m pour les barrages de Dracé, Ormes et Couzon.
Le nombre de poutrelles à placer dépend de la hauteur du niveau d'eau à l'aval et des piles;
- une membrane polyane pour assurer l'étanchéité.

Mise en place

- Visite et nettoyage par plongeurs des réservations des pieux avals par jet d'eau sous pression, suceuse pneumatique,....
- Mise en place des pieux à l'aide de grue de manutention, présence de plongeurs pour guider les pieux;
- Mise en place manuellement des bois dans chaque travée;
- Mise en place du matériel de pompage à l'intérieur du batardeau;
- Mise en place de la feuille de polyane (même procédé qu'à l'amont avec le batardeau à aiguilles);
- Épuisement.

4.3.2 Étude d'un système de batardeau aval à panneaux pour les barrages de la Moselle¹

Introduction

Un programme de modernisation du batardeau des barrages de la Moselle a fait l'objet d'une étude en août 2004 (en 2006, une étude de conception réalisation pour les batardeaux aval est en cours, dont les conclusions et réalisation peuvent différer de ce qui est présenté ici). Toutes les descriptions ci-après proviennent de cette étude, et les systèmes proposés ne sont donc pas réalisés.

Un des 3 scénarios proposés envisageait la construction d'un batardeau aval (absent jusque là) composé de panneaux (les batardeaux amont à aiguilles étant conservés dans les deux premiers scénarios, et remplacés par un batardeau flottant dans le troisième scénario).

Les éléments du batardeau seraient transportés et mis en place par une grue située à l'amont, plutôt qu'à l'aval. En effet, les panneaux peuvent alors être plus importants (le tirant d'eau, et donc la masse transportée, étant plus importants). Leur masse serait cependant limitée à 1t.

L'avantage est triple:

- Seulement une vingtaine d'éléments, en moyenne, à mettre en place ;
- Des temps de mise en œuvre réduits ;
- Une meilleure étanchéité (nombre d'étanchéités réduit).

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité

Éléments mobiles

Le batardage serait réalisé avec des panneaux dits standards (communs à tous les barrages) et un élément spécifique à chaque type de passe. Dans ce cas, un élément terminal de 1 m, un de 1.5 m et un de 2 m devraient suffire.

La diminution du niveau de retenue ne permet pas de faire d'économie notable car la diminution de la masse à lever ne permet pas de diminuer la taille de grue.

Les éléments standards mesureront 2m x 3m de hauteur (qui correspond à la plus grande hauteur d'eau à retenir) pour une masse inférieure à 1000 kg.

Afin de gagner en étanchéité et manipulation, **les poteaux sont intégrés au panneau.**

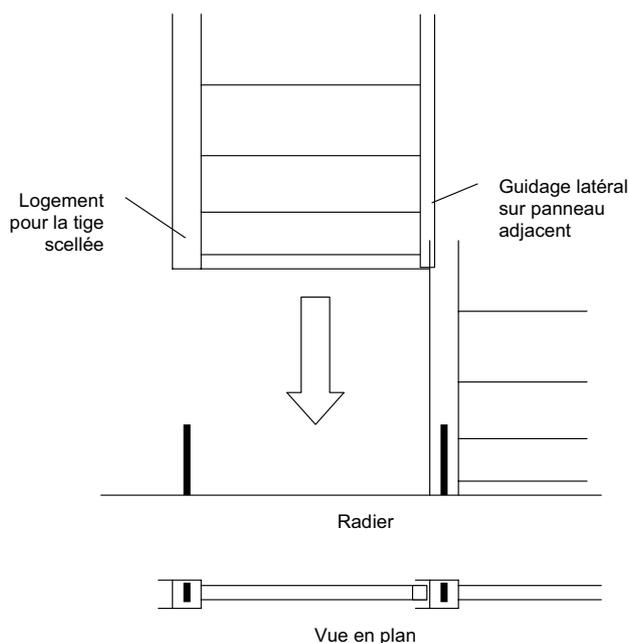


Figure 26 : Mise en place des panneaux

Les panneaux seraient réalisés en acier S355 soudés, recouverts d'un système de peinture ACQPA Im2 :

- Les poutres horizontales sont des IPN 120;
- Le bordé est une tôle ép. 5;
- Le poteau côté emmanchement est une poutre reconstituée soudée;
- Le poteau côté opposé est un tube soudé étanche.

Un des panneaux serait équipé d'une vantelle. Elle permettrait de faire la mise en eau de la passe sans la grue. La manœuvre de celle-ci sera possible depuis la pile avec une corde.

Modification du génie civil

Des modifications du génie civil devraient être effectuées soit entre autre le forage des radiers pour le placement des tiges (voir plus de détails dans l'étude complète)¹.

Mise en œuvre

Le ponton

¹ batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, Phase 2: Avant-projet (version provisoire, p34)

Les panneaux de batardage, les radeaux, les échelles et la grue sont chargés sur un ponton. Le ponton est remorqué à l'amont de la passe à batarder avec tout le matériel. Le ponton stabilisé possède une mécanique qui permet de prendre appui sur le fond. Celle-ci est entraînée par un moteur diesel qui rend le ponton capable de se poser sans avoir la nécessité d'un raccordement au secteur. Les pieds seront éventuellement du type télescopique pour respecter le tirant d'air et les impératifs de stabilité.

La grue

Une grue placée sur le ponton prend les éléments sur le ponton et les transporte à l'endroit de la ligne de batardage aval en passant au-dessus de tous les obstacles (route, passerelles, vanne).

La grue peut être louée ou achetée. Deux types de grues sont envisageables :

- Grue télescopique : La charge à lever est de 1 t à une distance variable d'une passe à l'autre. La distance de levage varie de 24m à 30m environ. La capacité de la grue variera entre 20 et 60 t. Les grues télescopiques sont automotrices et énergétiquement indépendantes. Aucune alimentation électrique n'est à prévoir. Elles sont disponibles uniquement en location. Les pontons flottants sont adaptés à ce type de grue. Une inclinaison du ponton peut être compensée par le relevage de la flèche.
- Grue à tour : elles sont « auto-dépliantes » et pré-lestées. Ces deux dernières caractéristiques réduisent le temps de dépliage et de pliage à 15 min chacun. Ce type de grue n'est jamais monté sur un ponton flottant. car elles ne sont pas prévues pour travailler avec l'inclinaison du ponton. L'utilisation d'un ponton stabilisé (reposant sur le fond) est alors indispensable.

Le choix s'est porté sur une grue à tour, car beaucoup plus abordable. Elle serait commandée par télécommande du plus près de la manœuvre.

La grue à une capacité de 1 t à 30 m, elle pourrait aussi être utile pour tous les autres besoins de manutention de Voies navigables de France.

Elle serait alimentée par le réseau disponible sur le barrage via une prise triphasée. La puissance maximum nécessaire est de 20 kW (tous les mouvements simultanés). La puissance minimum disponible sur les ouvrages est de 18 KW, il n'y a donc pas de problème pour alimenter la grue.

Quai de chargement

Un quai d'embarquement est à aménager à mi-distance entre les barrages extrêmes soit vers Jouy-aux-Arches et de préférence à l'amont d'un barrage (le niveau d'eau y est indépendant du débit de la Moselle). Avant la réalisation d'un tel aménagement, il faut vérifier qu'il n'existe pas déjà le long de la Moselle un quai public ou privé qui pourrait être utilisé.

Les radeaux

La grue commencera par poser les radeaux à l'aval de la vanne et les échelles d'accès sur les piles.

Le premier radeau est placé à demeure sous l'échelle d'accès. Il sert aussi de départ pour les plongeurs. Le second suivra la progression du rideau et accueillera le personnel.

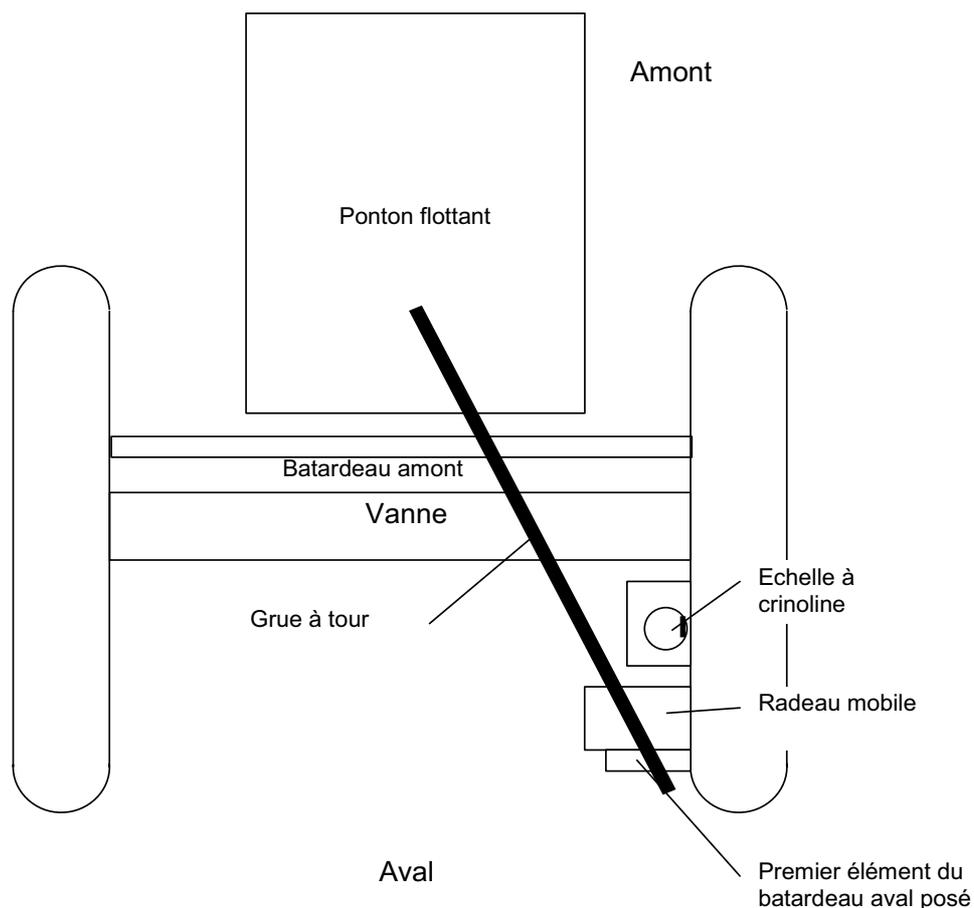


Figure 27 : Dispositif de batardage aval de la Moselle

Récapitulation des opérations de batardage aval :

1. Batardage amont.
2. Transport par remorquage du ponton jusqu'à la passe.
3. Amarrage du ponton.
4. Déploiement de la grue.
5. Mise en place de l'échelle à crinoline.
6. Manutention des radeaux.
7. Mise en place des panneaux standards à l'aide des plongeurs.
8. Finition de la barrière par le panneau spécifique.
9. Épuisement et finition de l'étanchéité.
10. Pliage de la grue.
11. Le ponton peut être remorqué sur un autre barrage.

Récapitulation des opérations de débatardage aval :

1. Transport remorquage du ponton jusqu'à la passe.
2. Amarrage du ponton.
3. Déploiement de la grue.
4. Mise en eau de la passe par ouverture de la vantelle.
5. Démontage des panneaux.
6. Manutention des radeaux.

7. Enlèvement de l'échelle à crinoline.
8. Pliage de la grue.
9. Le ponton peut être remorqué sur un autre barrage ou sur son lieu de stockage.
10. Débatardage amont.

Analyse des coûts (2004)

La moyenne des coûts par ouvrage pour ce batardage aval est 307 174 €, soit 3 686 090 € au total. Une solution avec panneaux en aluminium est très proche en terme de coût de la solution acier (respectivement 169 000 et 141 000 €)

4.3.3 Amélioration du batardage par poteaux et madriers (Moselle)¹

Les rideaux constitués de poteaux et madriers ne donnaient pas complètement satisfaction (problèmes de stabilité au montage et d'étanchéité).

Une solution est proposée pour ces problèmes :

Les poteaux

Maintien du parallélisme

Afin d'aider les poteaux à tenir leur verticalité et faciliter le montage des panneaux, une solution consistait à réduire les tolérances du guidage inférieur. Le jeu maximum de l'ordre de 1mm paraît trop serré pour ce système.

L'emploi de barres horizontales placées en tête des poteaux peut résoudre une partie du problème. Leur fonction est de maintenir les poteaux, peut-être pas verticaux, mais au moins parallèles. Ce dispositif, pour être efficace, sera aussi relié aux piles.

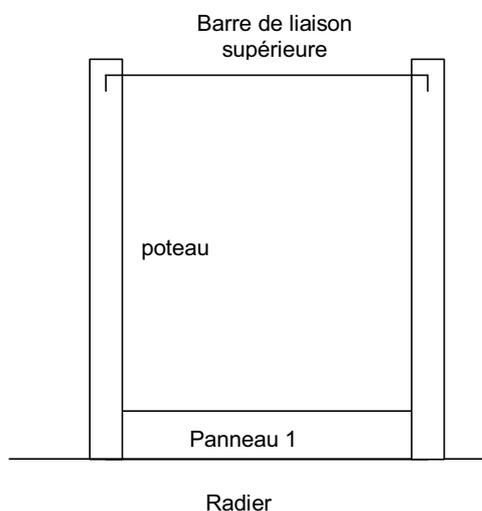


Figure 28 : Amélioration de l'étanchéité

Stabilité

Il n'existe pas de solution miracle à ce problème. Notons cependant :

- L'ajout de vis de pression pour limiter le jeu une fois en place. La mise en place et le démontage nécessitent des plongeurs ;

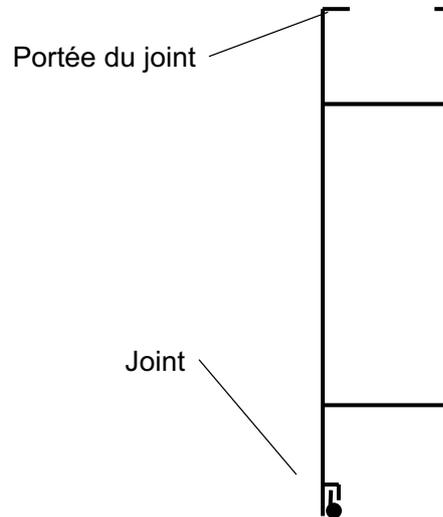
¹ Batardeau des Barrage de la Moselle, Étude de faisabilité

- La création de cônes de centrage pour réduire les jeux, au détriment de l'étanchéité ;
- La mise en place de goupilles ou axe interdisant aux poteaux de quitter les tiges.

Les panneaux

Les panneaux mesurent 1,9 x 0,3m ; ils sont pris dans un profil aluminium laminé spécifique développé pour cette affaire. Les avantages de cette construction sont multiples :

- La forme et la masse sont optimisées;
- Section utilisée sans reprise (portée de joint et fixation prévue sur le profil);
- Le développement d'un profil spécifique est abordable (2 250 € pour un profil type);
- L'aluminium pourra être du 6005 (Limite élastique : 220MPa).



Le profil de joint et le profilé aluminium pourront être étudiés pour ne pas nécessiter de pièces intermédiaires de fixation (joint clipsé dans le profilé). Ainsi, la mise en œuvre du joint sera aisée au premier montage comme en remplacement.

L'étanchéité latérale (avec les poteaux) sera aussi fixée sur les panneaux.

4.3.4 Utilisation des batardeaux à poutrelles soutenus par des béquilles à Berlin

À Berlin, nous avons observé un batardeau à panneaux et poteaux intermédiaires et béquilles pour le batardage d'une écluse.



Figure 29 : Photos des batardeaux de Magdeburg (Allemagne)

Ce batardeau est composé de poteaux métalliques appuyés sur des béquilles. Ces poteaux sont munis de rainures permettant de recevoir des plaques également métalliques permettant d'obturer la bouchure. La superposition de ces éléments modulaires permet d'obtenir une étanchéité de bonne qualité. L'avantage de ce système réside dans les plaques métalliques qui sont plus résistantes que des planches de bois ce qui permet un meilleur comportement dans le temps et donc une meilleure étanchéité. Les plaques métalliques ont une largeur de 1m à 1,5m et une hauteur de 30 à 50cm. La limitation des dimensions de ces plaques est liée au problème de mise en place de ces éléments.

4.3.5 Exemple d'un système avec béquilles de soutien issu de la protection contre les inondations¹

Ref: www.intovalve.co.uk

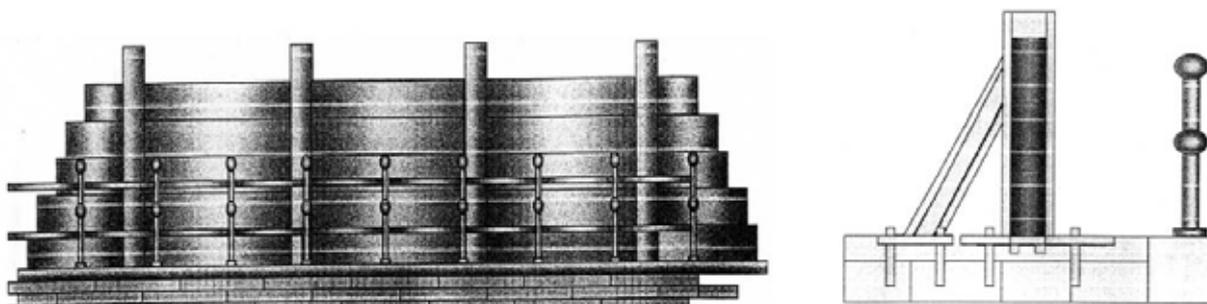


Figure 30 : Batardeau à poutrelle avec appuis intermédiaires

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dimension disponible

Longueur	Fonction du site mais en général de l'ordre de 2m
Nombre d'élément maximum	Pas de limite
Hauteur maximum	Pas de limite
Angles possibles horizontalement	pas applicable dans les courbes, les arcs, les coins les angles, ...
Nombre de joints verticaux	2
Nombre de joints horizontaux	1 par élément
Épaisseur de la structure en base	la hauteur dépend de la présence ou non d'une béquille permettant de soutenir la structure

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverse et infiltration
Hauteur d'eau maximum caractéristique	Dépend du site et des contraintes liées
Comportement aux infiltrations	Infiltrations possibles
Comportement face aux brèches	Les brèches ne sont pas considérées comme un mode de ruine de ce système
Augmentation de la hauteur en service	Possible en ajoutant d'autres poutrelles
Résistance aux dommages et réparation	Le système est durable. Il peut être réparé en service. Il n'est pas sensible au vandalisme

Aspects opérationnels

Temps d'installation	Dépend du nombre de personnes
Méthode d'installation	Installation semi-manuelle. Le site doit être préparé à l'avance
Possibilité d'installation incorrecte	Peu probable vue la simplicité du système
Stockage et transport	Les poutrelles doivent être stockées en position verticale et les structures horizontalement et couvertes d'une protection. Des camions sont nécessaires pour le transport jusqu'au site. Un équipement de levage est nécessaire pour l'installation
Adaptabilité aux conditions du terrain	Ce système peut s'adapter sur différents types de terrains mais convient mieux à des surfaces dures et planes
Sensibilité au vandalisme	Pas sensible au vandalisme
Localisation	Peut être utilisé n'importe où

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	Les éléments doivent être vérifiés tous les ans. Le système est durable mais une maintenance correcte augmente la durée de vie
Coûts d'installation (100m de long et 1m de haut)	Acier galvanisé = 110 000 € Bois = 70 000 € Aluminium = 99 000 €
Ressources pour l'installation	Vue l'importance des éléments, une équipe d'installation ainsi qu'un système de levage sont nécessaires
Coûts additionnels	Ces coûts ne comprennent pas l'expérience des équipes et la main d'œuvre

Autres aspect

Esthétique	Pas spécialement inesthétique
Environnement	Non polluant

4.3.6 Évolution des panneaux : aluminium

Étanchéité

Les étanchéités basses et latérales peuvent être assurées par du néoprène ou des joints en notes de musique.

Panneaux en aluminium

Ref: www.msu.fr

Les planchettes ou les panneaux en bois sont de plus en plus remplacés par des plaques métalliques ou d'aluminium. Les avantages sont évidemment un meilleur comportement dans le temps et l'aluminium permet de garder des structures assez légères.

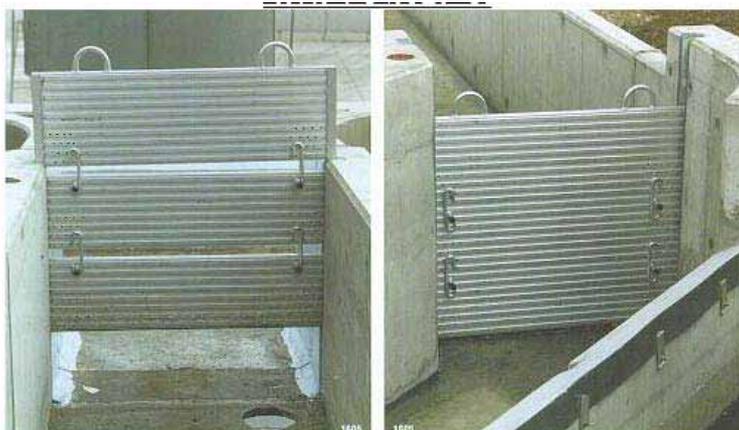


Figure 31 : Batardeau avec plaques l'aluminium

Les plaques ont des dimensions qui varient suivant les besoins. Suivant la taille des éléments, la facilité et la rapidité de la pose varient mais le concept est assez simple. L'étanchéité peut être augmentée par l'utilisation d'étriers de compression.

Sur la figure ci-dessous, les plaques d'aluminium sont insérées entre des structures en béton mais ce système peut très bien être réalisé au moyen de structures amovibles c'est-à-dire insérer les plaques métalliques entre des poteaux placés dans des réservations.



Figure 32 : Batardeau en plaques d'aluminium



Figure 33 : Même principe mais avec des poutrelles pour des portées plus importantes (17m de long, 3.4m de haut)¹

4.3.7 Autres exemples issus de la protection contre les inondations

Ref: www.floodcontrolam.com

Il y a plusieurs systèmes basés sur le même principe comme par exemple ici avec des poutrelles en aluminium pouvant atteindre des longueurs de 6 m.

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection



Figure 34 : Batardeau à poutrelles¹

Les caractéristiques des différents systèmes sont légèrement différentes mais les ordres de grandeur sont les mêmes.

Barrière de protection BAUER-IBS

www.demflood.co.uk



Figure 35 : Barrière de protection Bauer-Ibs¹

Ce système de protection est dans la famille des batardeaux à poutrelles avec poteaux intermédiaires. Les poutrelles sont en aluminium ainsi que les poteaux.

Barrière anti-crue¹

Réf: www.antiflood.com

Description

Cette barrière de protection est un système modulaire formé de panneaux (en polythène) qui sont insérés entre des supports (en béton).

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection



Figure 36 : Batardeau modulaire

Dimensions disponibles

Longueur	1,2m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,7m
Angles possibles horizontalement	Des angles de 90° sont possibles
Nombre de joints verticaux	1
Nombre de joints horizontaux	0 ou 1 si les structures sont empilées en hauteur
Épaisseur de la structure en base	0,73m

Aspects structurels

Mode de ruine	Aucun mais de gros dégâts par surverse
Hauteur d'eau maximum caractéristique	0,7m
Comportement aux infiltrations	Fonction du type de sol
Comportement face aux brèches	La ruine de la structure ne devrait pas être induite vus la stabilité et le poids de la barrière
Augmentation de la hauteur en service	Possible
Résistance aux dommages et réparation	La structure est rigide et a donc une bonne résistance

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,7m de haut)	Une personne en 15 heures
Méthode d'installation	Installation manuelle car les panneaux sont assez légers
Possibilité d'installation incorrecte	aucune
Stockage et transport	Peuvent être stockés à l'extérieur sans protection. Les panneaux ont une dimension de 1,2*0,70*0,5m, une camionnette est donc suffisante
Adaptabilité aux conditions du terrain	Des sols de type sables ou herbes sont mieux adaptés qu'une surface en béton qui nécessite alors des ancrages
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Les rainures sont les seules fixations
Localisation	Beaucoup d'applications mais préférable pour des longueurs pas trop importantes

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	Ces éléments sont extrêmement durables
Coûts d'installation (100m de long et 1m de haut)	19 000 €
Ressources pour l'installation	Si les supports sont placés, une seule personne suffit
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Pas inesthétique (différentes couleurs sont disponibles)
Environnement	Non polluant

4.4 Retour d'expérience

Ce type de batardeau est généralement utilisé comme batardeau aval en particulier sur la Saône. Le problème de ce type de batardeau est que les réservations se remplissent de différents éléments (sable, terre, feuilles, pierres, ...) pouvant former une pâte très dure et difficile voire impossible à nettoyer. Un système de bouchon serait une solution satisfaisante.

Besoins

- Systèmes permettant de protéger les réservations des sédiments (problème de maintenance) ou suppression des réservations.

4.5 Fiche récapitulative

Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires



Avantages	Inconvénients
<p>Peu coûteux</p> <p>Facilité de mise en place si accessible à pied</p> <p>Pas de limitation de longueur (ajout d'éléments pour garder des poutrelles de longueurs acceptables)</p> <p>Système éprouvé</p> <p>Système durable</p> <p>Pas de moyens lourds pour l'installation (éléments de tailles raisonnables, installation manuelle)</p>	<p>Les réservations dans le radier doivent être nettoyées (dépôts pouvant être difficile à enlever)</p> <p>Nécessité de plongeur si retenue de plus de 1m</p> <p>Le nombre important d'éléments augmente le temps de mise en place du batardeau</p> <p>Un équipement de levage est nécessaire si les éléments sont trop importants (retour à la catégorie B)</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>Généralement pour l'aval car la hauteur du batardeau est limitée par la hauteur d'eau à tenir (maximum de 2 à 3m)</p> <p>Solution de batardage universelle pour l'aval</p> <p>Utilisation limitée par la mise en place des poteaux (idéal pour un batardage à l'étiage si l'aval est accessible à pied)</p> <p>L'espacement entre les poteaux est de l'ordre de 2m (mais pas de limite technologique sur le nombre de tronçons)</p>	

5 Famille E : Bouchures flottantes (caissons)¹

5.1 Description

Le principe est d'utiliser un élément flottant, amené donc par voie d'eau, obturant toute la passe et mis en place par ballastage. Le ballastage peut s'accompagner ou non de pivotement du batardeau.

Il existe différentes variantes dans les caissons flottants (demandant pivotement) dont la suivante en est une et illustre bien ce qu'est un caisson flottant. D'autres exemples de caissons seront exposés plus en détail dans l'étude des cas pratiques.

5.1.1 Description des caissons flottants

Les bouchures flottantes sont souvent composées de caissons étanches et d'un bordé assurant la bouchure. Un batardeau de ce type est utilisé sur la Seine pour le batardage de différents barrages (voir plus loin dans l'étude de cas pratique). Dans ce cas, la mise en place nécessite un pivotement du batardeau (de position horizontale à position verticale), et celui-ci doit donc être équipé de deux passerelles : l'une pour la position chômage (en flottaison), l'autre pour la position batardeau. Les caissons sont munis de vannes manoeuvrables depuis les passerelles pour leur remplissage d'eau. Des axes permettent le positionnement et le maintien de la bouchure dans des réservations faites dans les piles du barrage.

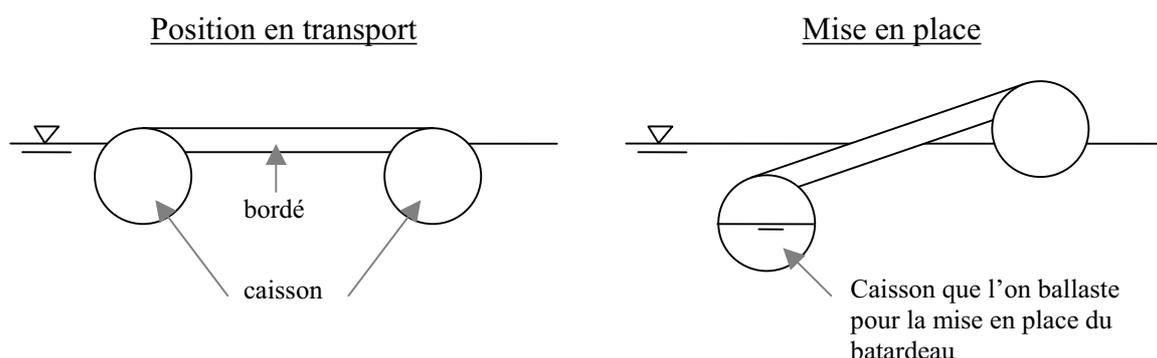


Figure 37 : Schématisation d'un caisson flottant

Leur forme n'est généralement pas très adaptée à la navigation donc, en phase chômage, elles sont stockées à proximité immédiate de l'ouvrage.

Elles disposent de vannes de remplissage de la passe.

Les caissons de ballast sont aussi utiles pour adapter l'altitude des axes à l'altitude des rainures (en cas de variation de hauteur du plan d'eau amont).

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle, Étude de faisabilité, ISM

Exemple de mode opératoire de pose :

- 1) La bouchure en flottaison est amenée en position à l'aide d'un remorqueur ou de cordes.
- 2) Les axes des bouchures sont engagés dans des rainures à l'aide du remorqueur.
- 3) Les axes sont bloqués.
- 4) Les vannes de ballastage sont ouvertes, la bouchure coule en tournant autour de son axe fixe et vient en appui sur une butée présente sur le radier.
- 5) Laisser les caissons se remplir d'eau, puis fermer les vannes une fois la bouchure coulée.

En cas de vent ou de courant même léger, le remorqueur est obligatoire.

Exemple de mode opératoire d'enlèvement :

- 1) Sous charge, les caissons sont vidés puis fermés.
- 2) La vanne de remplissage de la passe est ouverte.
- 3) Un peu avant l'égalité de niveau, la bouchure se soulève (position flottaison).
- 4) La bouchure est retirée de ses rainures et remorquée jusqu'à sa position de chômage.

5.1.2 Analyse critique

Le procédé de batardage est plus rapide qu'un système à aiguilles ou à poutrelles.

Ces bouchures demandent plus de maintenance que d'autres systèmes (vannes...) et souvent quelques réparations du type :

- Remplacement des vannes de ballastage,
- Peinture anticorrosion.

5.1.3 Maintenance

Sécurisation de l'amarrage des bouchures flottantes

La bouchure flottante est généralement stockée dans une forme ou sur un quai à l'amont de l'ouvrage. Les systèmes d'amarrage doivent être tenus en bon état sous peine de laisser filer la bouchure. En cas d'amarrage à un quai, il faut prévoir un dispositif permettant à la bouchure ou au quai de suivre le niveau de l'eau en cas de crue.

Peinture anti-corrosion

Régulièrement, les structures métalliques doivent être traitées contre la corrosion, y compris l'intérieur des caissons puisqu'ils sont tour à tour remplis d'air et d'eau. Il faut donc prévoir la possibilité d'inspection et de travail dans ces caissons.

5.2 Exemples

5.2.1 Conception d'un batardeau flottant à Gray ¹

Remarque :

Après discussion avec la subdivision de Gray, ils n'ont pas connaissance de ce batardeau. Cependant, ce document (1995) étant donné comme référence, nous le mentionnons comme projet.

Situation du problème :

Étudier un batardeau flottant dont la mise en place s'effectue par ballastage.

Ce batardeau doit être installé sur plusieurs barrages de la Saône dont la largeur de passe est différente (9,5m, 9,6m et 11,1m).

Le batardeau doit pouvoir être transporté par route et par convoi routier normal, donc ne pas excéder une largeur hors tout de 2,55m.

Le batardeau doit pouvoir retenir une hauteur d'eau de 2,5m à 3m dans certains cas.

Il sera toujours installé et enlevé sous une hauteur d'eau inférieure à 2,5m et en l'absence de courant.

Solutions proposées :

1. Batardeau flottant à plat et devant être basculé par ballastage devant la passe. Cette solution permettrait d'installer le batardeau dans une hauteur d'eau relativement réduite (1 m)

Solution 1

Cette solution est un batardeau flottant « verticalement » installé par ballastage et immersion verticale sans basculement. Cette solution permet une utilisation dans un minimum de 1,15 m de profondeur, mais est difficilement réalisable étant données les restrictions imposées.

Solution 2

Batardeau flottant avec basculement dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Batardeau à deux corps de flottaison avec une articulation intermédiaire;
- Le tirant d'eau est minimum pendant le transport fluvial, les deux corps étant positionnés horizontalement et verrouillés pour assurer une grande stabilité en flottaison;
- Les deux corps sont déverrouillés pour le basculement, le premier étant ballasté puis complètement immergé, le second étant ensuite partiellement ballasté puis relevé en position verticale.

¹ Conception d'un batardeau flottant, Choix d'une solution, Subdivision de Gray, Étude Eurodim

Le schéma suivant résume la cinématique de basculement du batardeau.

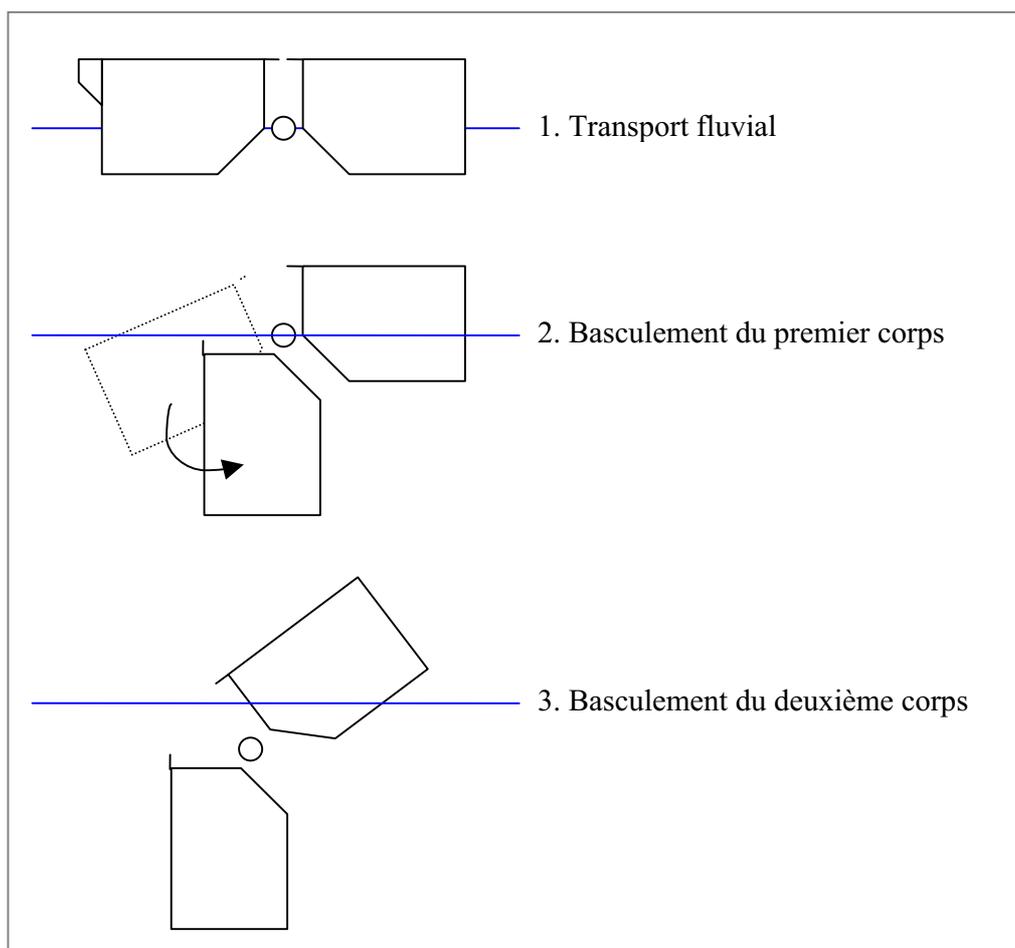


Figure 38 : Schéma de basculement du batardeau dans l'option 2 (deux corps)

Cette solution a été rapidement abandonnée car la cinématique de basculement de deux corps flottant est complexe.

Solution 3

On garde le principe de la solution 2 d'un batardeau flottant en position horizontale pour le transport sans le concept des deux corps articulés.

Description du batardeau flottant proposé

Le batardeau flottant est constitué de deux éléments composés de caissons étanches (donnant la flottabilité et permettant le ballastage), reliés entre eux par une structure constituée d'une tôle de bordé raidie et d'une poutre treillis.

Une rehausse (0.5 m de haut) est fixée sur la structure principale de batardeau, avant mise à l'eau.

Les étanchéités sont réalisées par un platelage bois lisse et ajusté, fixées sur le bordé. Les étanchéités latérales et de seuil viennent en appui sur les faces amont des piles et du radier.

L'accès aux deux caissons d'extrémités est assuré par une passerelle fixe et légère munie de garde-corps amovibles.

À la partie supérieure, des trous d'homme permettent d'une part l'accès à l'intérieur et d'autre part la mise en place des pompes de ballastage et de déballastage.

Chaque angle supérieur des caissons est équipé de dispositifs pour l'amarrage et le remorquage.

Le batardeau flottant est constitué principalement des éléments suivants :

- 2 éléments de 2.5m de haut, 2.5m de large et 4.5m de long;
- 1 élément central constitué d'un bordé et d'une poutre en treillis de 3m de haut, 2.5 m de large et 6.9m de long;
- 1 rehausse de 0.5m de haut et 12m de long.

Procédure d'installation :

1. Inspection et déblaiement des appuis.
2. Accostage du batardeau devant la passe à batardeau.
3. Ballastage des deux caissons latéraux simultanément en veillant à l'équilibrage.
4. Mise et maintien à sec de la passe par des pompes.
5. Déballastage

Le basculement et la mise en place du batardeau seront effectués selon la procédure suivante :

- Positionnement du batardeau dans la zone prévue pour le basculement;
- Mise en place des équipements de relevage du batardeau (toujours en position horizontale) ;
- Ballastage en eau des deux compartiments latéraux du batardeau. Lorsque l'inclinaison atteint environ 115°, mise en tension des deux ensembles de relevage placés à côté du seuil du batardeau ;
- Lorsque l'inclinaison atteint 30°, le batardeau est basculé en position verticale ;
- Ballastage en eau du compartiment central ;
- Remplissage du compartiment central jusqu'à ce que le batardeau atteigne le fond.

5.2.2 Bouchure de secours : Barrages de la Seine Amont¹

Le batardeau des barrages de la Seine Amont (La Cave, Champagne/Seine, Varennes/Seine) est une structure flottante de 30m de large, en caisson, pouvant être utilisée sur plusieurs barrages voisins car ayant des passes de cette dimension. Il peut ainsi être utilisé pour 22 passes. Il est conçu pour être utilisé en secours (avec un courant dans la passe à batardeau), mais pas forcément en urgence.

¹ Barrage de La Cave, Bouchure de secours, Notice de fonctionnement et d'entretien général



Figure 39 : Batardeau flottant de la Seine Amont

Description générale

Le barrage ne devant pas comporter de superstructure (seule une passerelle d'exploitation), il a été nécessaire de prévoir un engin ne nécessitant pas de portique, et néanmoins susceptible d'être mis en place en cas de détérioration et de blocage, en position d'ouverture d'une des vannes de l'ouvrage. Il s'agit donc d'un batardeau de secours.

Le batardeau est constitué d'un platelage métallique qui prend appui sur deux caissons longitudinaux de forme de cylindre. Ces caissons sont destinés à être remplis d'eau et compartimentés (afin d'éviter les effets de cale liquide et d'obtenir un ballastage lent et précis). Pour la mise en place, l'engin est d'abord amené par flottaison au moyen de remorqueurs. Il peut être mis en place en utilisant la poussée hydrostatique ou par des vérins (pour le cas où la hauteur d'eau ne suffit pas pour la mise en place par poussée hydrostatique).

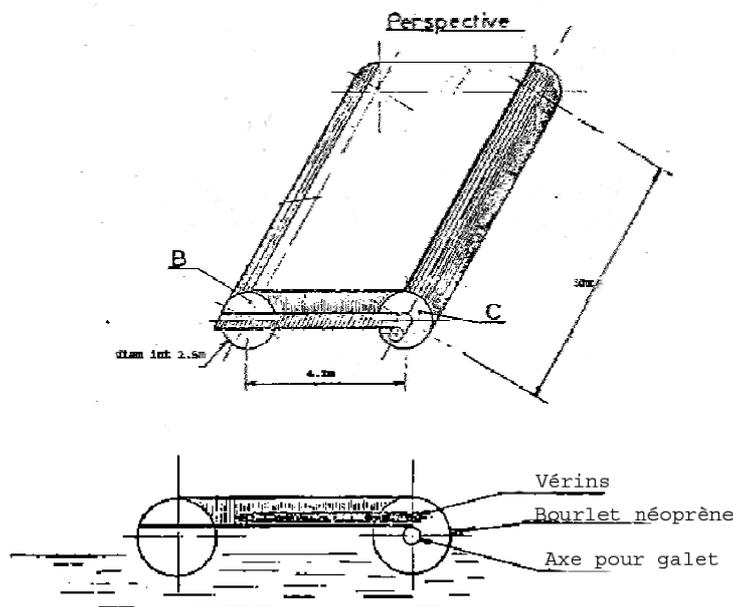


Figure 40 : Schémas de la bouchure

Principe de la méthode de mise en place par poussée hydrostatique

Pour la mise en place, l'engin est d'abord amené par flottaison au moyen de remorqueurs.

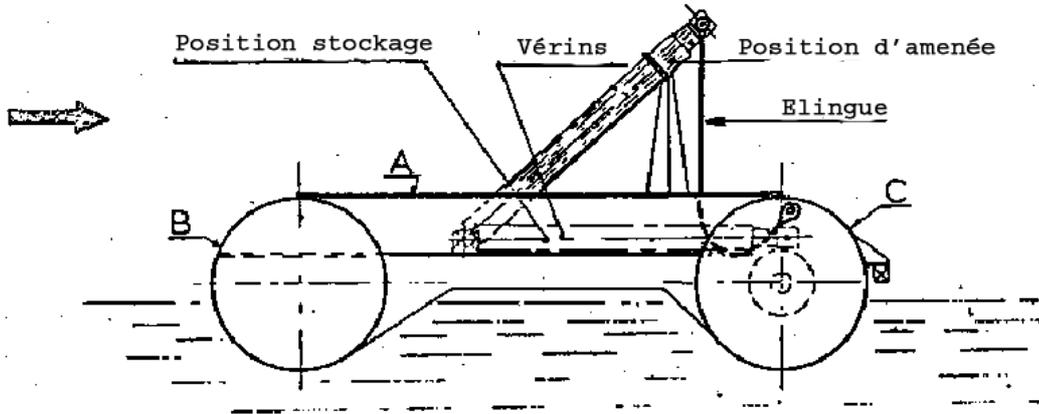


Figure 41 : Transport du batardeau par flottaison

Lorsque le batardeau est en contact avec le redan servant de roulement au galet de guidage, il faut sortir les tiges des vérins, de façon à permettre leur fixation sur les attaches des piles.

Le caisson aval est ensuite entièrement rempli d'eau, il est alors soutenu du côté aval par ses galets d'extrémité venus prendre appui sur les redans et du côté amont par la flottabilité du caisson amont dans lequel on n'a pas introduit d'eau. Pendant cette opération, les vérins fonctionnent en amortisseurs.

La fermeture complète de la bouchure est assurée par l'obturation des autres passes du barrage, ce qui provoque une augmentation de la différence de niveau entre l'amont et l'aval, et le relevage du batardeau jusqu'à sa position de fermeture.

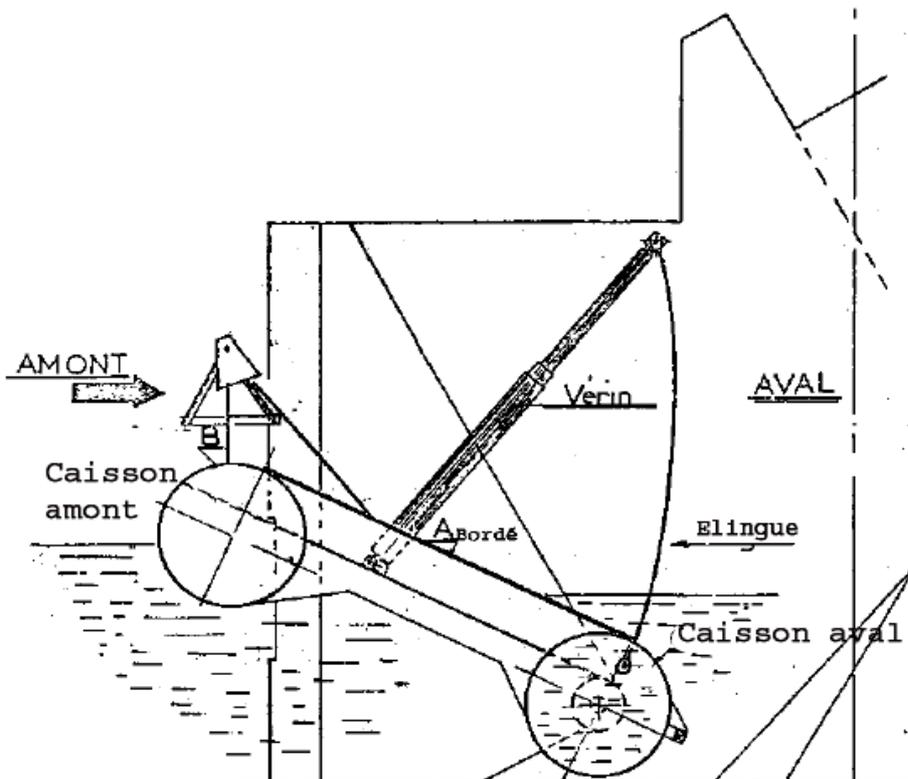


Figure 42 : Coupe dans la passe lors de la mise en place du batardeau

Principe de la méthode de mise en place par les vérins

Le principe est le même que pour la méthode précédente sauf que la fermeture complète de la bouchure est assurée par les vérins.

Exploitation

Bien que la conception du batardeau permette théoriquement son utilisation en bouchure de secours, cela n'a jamais été nécessaire, et on peut émettre des doutes sur sa faisabilité.

En effet, son utilisation n'est pas fréquente et à chaque nouvelle utilisation, il faut le remettre en état car son entretien régulier n'est pas effectué (voir photos).



Figure 43 : Équipements du batardeau flottant

Cette remise en fonction prend trop de temps pour une utilisation en urgence. De plus, le batardeau est utilisable pour plusieurs barrages à passes de 30 m, il faut donc le déplacer vers le site ce qui peut prendre du temps également. Cependant, il faut rappeler qu'un batardeau de secours, s'il est souhaitable qu'il soit mis en place le plus vite possible, n'est pas forcément utilisé en urgence, mais se définit surtout par les conditions (de hauteur d'eau et de courant notamment) dans lesquelles il peut être mis en place. Même avec cette nuance, n'ayant jamais été testé, le batardeau de la Seine n'a pas vraiment démontré son efficacité en batardeau de secours.

5.2.3 Bouchures flottantes au barrage de Pont-à-Mousson (Moselle)¹

Description

Le barrage de Pont-à-Mousson

Le barrage de Pont-à-Mousson comporte 4 passes dont deux avec des clapets et deux avec des vannes segment, de deux largeurs différentes. La possibilité de réaliser une bouchure unique avec des rallonges a été écartée, car les efforts dans la structure nécessitent des fixations très résistantes qui seront longues à mettre en œuvre. De plus, les hauteurs à retenir sont aussi différentes. En conclusion, il faut une bouchure pour les passes à clapet et une pour les passes à vanne segment.

La bouchure flottante

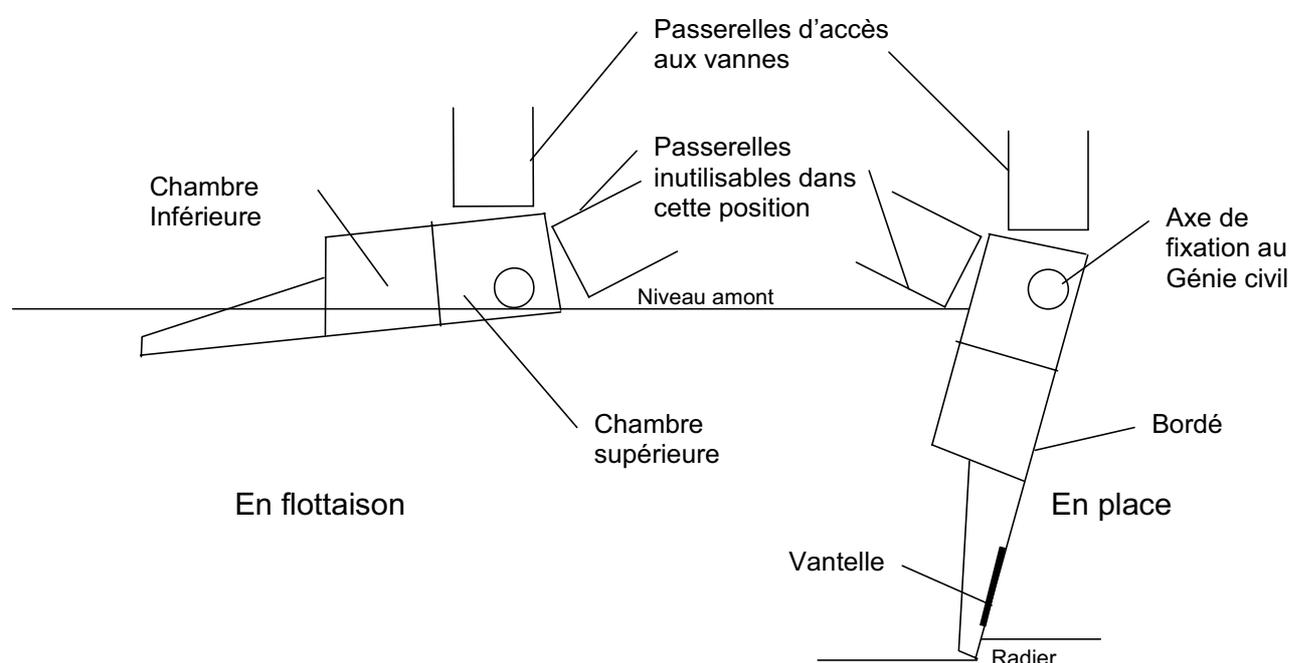


Figure 44 : Schéma de la bouchure

À la manière d'un clapet, la bouchure est constituée d'un bordé raidi verticalement et d'une section de torsion pour le transfert des efforts aux piles.

Dans le caisson de torsion, sont aménagées deux chambres indépendantes, l'une au-dessus de l'autre. Le remplissage de l'une ou de l'autre permet de faire basculer la bouchure et ainsi de régler l'altitude de l'axe.

Les chambres sont fermées par des vannes et clapets accessibles depuis le dessus de la bouchure. Deux petites chambres supplémentaires sont toujours remplies d'air. La bouchure est prévue pour être insubmersible.

L'accès aux vannes est possible par deux passerelles courant sur toute la longueur de la bouchure.

¹ Batardeaux des barrages de la Moselle; Étude de faisabilité

Deux vantelles aménagées à travers le bordé permettent le remplissage rapide de la passe. Des prises de pression sont disponibles pour vider les chambres de la bouchure en flottaison.

Le stockage

Le stockage est le problème de ce type de batardeau. Plusieurs solutions sont envisageables :

- Aire de stockage spécifique à proximité du barrage ;
- Mise à sec sur une berge par grutage ;
- Stockage à quai.

La création d'une aire de stockage est plus délicate en rénovation qu'à la construction du barrage, car la nature des remblaiements utilisés ne permet plus de battre des palplanches dans de bonnes conditions.

Dans ce cas particulier, la solution pertinente est un stockage à l'atelier de Pont-à-Mousson, non loin du barrage. Le remorqueur nécessaire à la manœuvre apporterait en même temps la bouchure.

5.2.4 Caisson flottant (État-Unis)

Description:

Le caisson flottant est utilisé pour batardeau les passes des barrages dans un rayon de 300 à 400 km dans le district de Nashville aux États Unis. Ce caisson permet la mise à sec des passes pour la maintenance.

Il mesure 34,3m de long, 9 m de haut et 3,2 m d'épaisseur. Puisque la structure est flottante, il est possible de la transporter vers un nouveau site. Le transport se fait en position horizontale. Pour utiliser le caisson comme batardeau, il faut ouvrir des vannes qui permettent de ballaster le caisson. La structure est manœuvrée par un pousseur.

Quand l'opération est terminée, les chambres sont remplies d'air pour faire sortir l'eau et le caisson retrouve sa position horizontale et peut être transporté vers un autre site. Ce caisson est déjà utilisé mais un nouveau est en étude pour augmenter les possibilités.



Figure 45 : Batardeau flottant aux États-Unis

Les figures qui suivent illustrent bien la manœuvre :

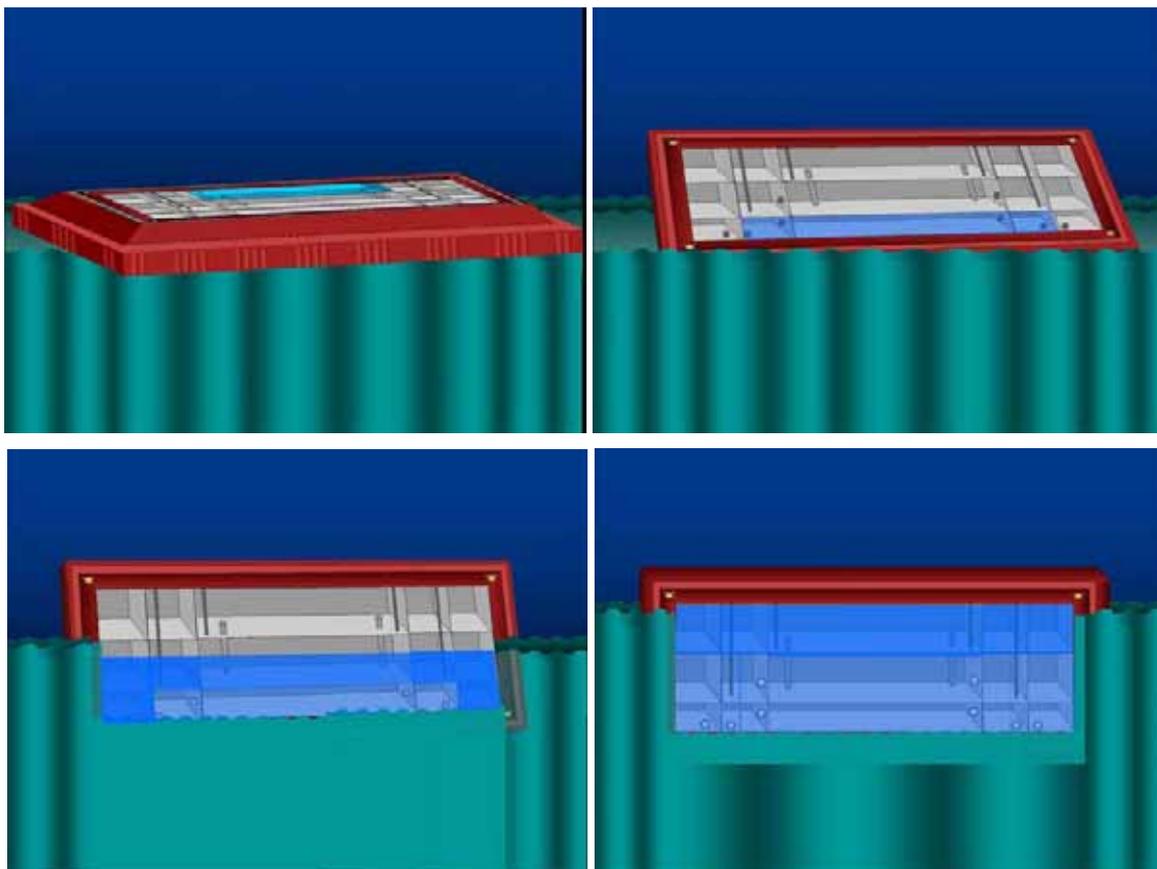


Figure 46 : Principe de mise en place du batardeau

5.2.5 Batardage sur la Meuse (France)

Ce dispositif de batardage de secours est un projet et comprend la méthodologie d'installation pour les batardeaux amont et aval et la plate forme de travail ainsi que la programmation de mise en place.

Ces batardeaux devront être compatibles avec les ouvrages de Cy, Mont Meuse et Maizey sur la Meuse.

Batardeau amont avec dispositif de sécurité

Caractéristiques principales du batardeau proposé :

- Batardeau métallique flottant ;
- 15,73m de long, 2,5m de large et 1m de haut ;
- 12 tonnes ;
- portique de manutention ;
- 2 chaises de stockage (80kg).

Matériel à mettre en œuvre

En plus d'un camion semi remorque et d'une grue de 40 t qui peuvent être loués, le Service navigation devrait posséder : un pousseur, un tire fort, 2 palans à chaîne (8 t chacun), 2 élingues doubles, 2 cordes pour le guidage ($\phi 12$), 2 motopompes, 1 groupe électrogène

(38KVA), des panneaux signalant les travaux, des projecteurs, des échelles, des talkie walkies et une gaffe.

Personnel nécessaire

Quatre agents dont un pilote de bateau seraient nécessaires pour l'opération.

Les équipements de sécurité comprennent des barques, bouées, harnais avec longe et stop chute, gilet de sauvetage autogonflant, casques, chaussures, gants.

En plus des quatre personnes, il faut des moyens matériels que tous les services de navigation ne possèdent pas.

5.2.6 Bateau porte

Un autre type de batardeau flottant sont les bateaux porte. Ce sont des structures flottant verticalement qui sont ballastées une fois en position pour assurer la bouchure de la passe.



Figure 47 : Deux types de bateaux porte¹

¹ Bateaux porte Helsinki (Finlande), Avril 2004

5.3 Retour d'expérience

Le batardeau flottant de la Seine amont demande beaucoup de moyens pour son utilisation et pour sa maintenance. Ainsi par manque de maintenance régulière de cet ouvrage, il se trouve aujourd'hui en état précaire (Figure 48).



Figure 48 : Batardeau flottant vétuste (Seine)

Besoins

- Moyens moins importants (hommes et outils) pour l'utilisation et la maintenance du batardeau ;
- Vérification de pouvoir utiliser le batardeau en cas d'urgence (Les exploitants doutent de la capacité d'utilisation de ce batardeau en cas d'urgence principalement à cause de la maintenance du batardeau qui n'est pas réalisée et sur le fait qu'il faut éventuellement le transporter vers un autre site)

5.4 Fiche récapitulative

Caisson ballastable et bateau porte	
	
Avantages	Inconvénients
<p><u>Caisson flottant</u> 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</p>	<p>Coûteux à la construction Coûteux à l'entretien (maintenance importante) Si flottaison verticale: <ul style="list-style-type: none"> • tirants d'air et d'eau importants • procédure de ballastage à suivre rigoureusement (danger de renversement) Nécessité de moyens lourds (remorqueurs, vérin, ...) Nécessité d'un lieu de stockage Pas rentable pour un seul ouvrage</p>
<p><u>Bateau porte</u> 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</p>	
Gamme d'utilisation	
<p><u>Caisson flottant</u> Batardeau de maintenance Batardeau de secours (étudié mais jamais testé) Généralement pour l'amont Pour des portées importantes (>20m)</p>	
<p><u>Bateau porte</u> Pour des portées importantes (>20m)</p>	

¹ Bateaux porte Helsinki (Finlande), Avril 2004

² Bouchure de secours, barrage de la Cave (Seine), avril 2004

6 Famille F : Batardeaux gonflables

6.1 Description ¹

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

Ces tubes sont généralement transportables et nécessitent des pompes pour le gonflage.

Les tubes ont un rapport largeur hauteur important (ex: un tube de 2 m de haut peut avoir une largeur de plus de 10 m). Ils sont facilement installés et demandent souvent uniquement une installation manuelle et une ou deux pompes.

Ces systèmes sont utilisés déjà utilisés par exemple aux États-Unis (Idaho) pour la protection contre les inondations.

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

Ce système de protection est généralement avantageux pour des longues distances. Ils ne sont pas utiles pour des faibles ouvertures et sont sensibles aux déchirures, qui peuvent être cependant généralement réparées pendant l'utilisation de la structure.

Vue de profil

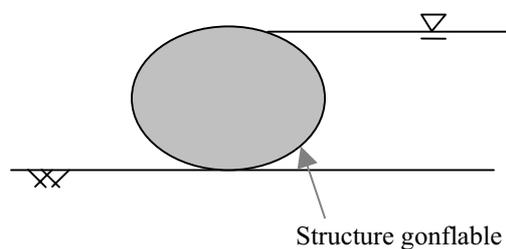


Figure 49 : Vue schématique d'un barrage gonflable

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, Temporary and Demountable Flood protection

Avantages	Inconvénients
Faible pression sur la surface résistante	Grand rapport largeur hauteur
Très polyvalent (peut être utilisé pour diverses applications)	Les défauts affectent la structure entière
Rapide et facile à installer	
Pas besoin de beaucoup de place pour le stockage	Risque que l'eau à l'intérieur du tube gèle
L'installation ne demande que des moyens humains et des pompes mobiles	
Les défauts dans la membrane peuvent être remplacés sur place	
Assez flexible pour s'adapter aux imperfections du terrain	
Facilement nettoyé et réutilisable	

6.2 Exemples

6.2.1 Batardeau gonflable (Barrage de navigation d'Ivoz-Ramez, Belgique)¹

Introduction

Le batardeau gonflable remplace les batardeaux classiques habituels (poutres métalliques horizontales ou verticales, palplanches, portes, ...) généralement utilisés pour effectuer la bouchure provisoire des passes d'un barrage ou du sas d'une écluse.

Le principe de la bouchure réside dans la mise en place d'une membrane, réalisée en caoutchouc toilé, fixé simplement au radier et gonflé à une pression supérieure à la poussée hydrostatique.



¹ Barrage d'Ivoz-Ramet, Batardeau Gonflable pertuis aval, Spécification technique (1997)



Figure 50 : Différentes vue du batardeau

Descriptif technique

Schéma de principe

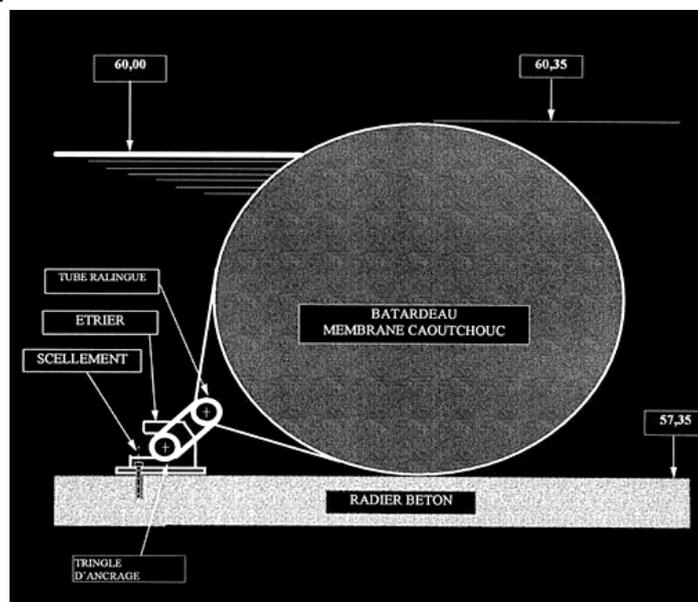


Figure 51 : principe du batareau gonflable d'Ivoz-Ramet (Belgique)

Les caractéristiques du site sont :

Largeur pertuis	:	24m
Vitesse du courant	:	1,5m/s

Étriers

Les étriers sont en acier E240, mécano-soudés. 25 étriers sont nécessaires pour ancrer le batardeau au radier soit un étrier par mètre. Ils sont ouverts sur l'arrière afin de faciliter les montages et démontages.

Tringle d'ancrage

La tringle d'ancrage est constituée de 4 tubes métalliques raboutés entre eux par vissage.

La tringle d'ancrage et le tube de ralingue sont identiques en dimensions. La liaison est souple et réalisée par une chaîne formant une boucle et s'entourant sur des barbotins fous en plastique. La chaîne est fermée et raccordée par une manille.

Membrane en caoutchouc

Le matériau constituant la membrane gonflable est un complexe élastomère/textile (2N800P45 SATUJO). Il s'agit d'un assemblage par calandrage de deux plis de tissu en fibre polyamide, dans un mélange de gomme à base de polychloroprène dont l'épaisseur totale est de 4,5mm. Cette gomme assure l'étanchéité et la tenue dans le temps contre les agents atmosphériques et l'abrasion.

La confection est assurée par vulcanisation à chaud sous presse.

Les jonctions sont dans le sens de l'écoulement de l'eau, qui correspond à la chaîne de tissus, c'est-à-dire à sa plus grande résistance.

En cas d'accident, la membrane peut être facilement réparée par vulcanisation à froid sur site ou à chaud en usine.

Procédure de mise en œuvre

Mise en place de la tringle d'ancrage

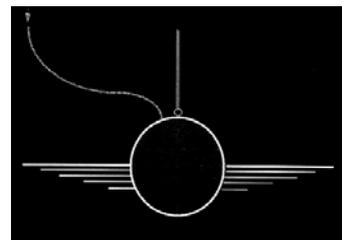
Assemblage à terre des différentes parties de la tringle et pré-positionnement des étriers.

Immersion de l'ancrage et positionnement sur le radier entre les murs du puits, perçage et scellement des ancrages, fixation des étriers (uniquement première installation)

Mise en place de la membrane

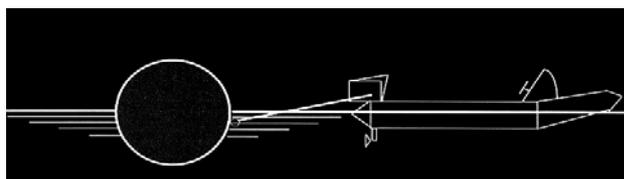
Mise à l'eau

La membrane est mise en place par une grue légère de manutention. La membrane est alors légèrement gonflée à l'air pour assurer sa flottabilité.



Remorquage

La membrane est remorquée vers le lieu de la pose par une embarcation légère (type Zodiac).

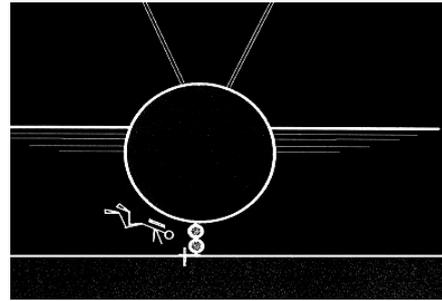


Mise en position

La membrane est positionnée entre les môles du puits, au droit de la tringle d'ancrage et amarrée par des aussières en polypropylène.

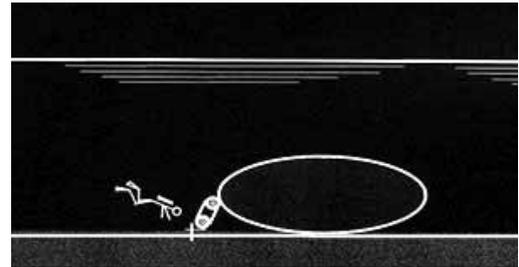
Descente de l'ancrage

Les plongeurs passent les chaînes autour des barbotins.



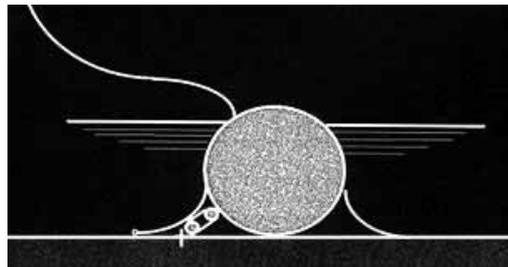
Ancrages

La membrane est légèrement dégonflée.
Les plongeurs manillent les chaînes.



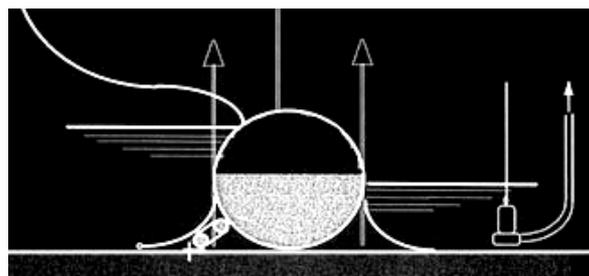
Gonflage à l'eau

Installation d'une motopompe à la surface.



Relevage de l'eau interstitielle

La motopompe de remplissage sert de pompe d'assèchement de l'espace entre les bavettes d'étanchéité primaire et la membrane.



Épuisement et remplacement progressif de l'eau par de l'air.

Le sas est épuisé par une pompe à fort débit.

L'eau contenue dans la membrane est progressivement remplacée par de l'air.

Quand le sas est épuisé, on maintient une motopompe de petit débit contre les petits défauts d'étanchéité.

Procédure de démontage

Le démontage s'effectue en dégonflant progressivement jusqu'à ce qu'elle soit en flottaison partielle. La tringle d'ancrage est alors retirée, et l'ensemble est remorqué vers le quai où une grue permet d'effectuer la sortie hors de l'eau.

Il reste dans le fond les étriers scellés dans le béton, réutilisables lors de la prochaine opération de batardeage.

Évolution

Ce batardeau a été conçu pour des passes de 24m de long. Une idée de batardeau modulaire a été explorée sans suite.

Le principe était de construire un module principal et d'autres modules plus petits pour que ces batardeaux soient utilisables sur un grand nombre de passes.

Par exemple les barrages de la haute Meuse ont des passes de 19m, 22m, 22,5m et 25m. L'idée était de réaliser une première enveloppe de 19m de long et des enveloppes supplémentaires de 3m, 3,5m et éventuellement de 6m, assemblées à la première par des éléments rigides et formant ainsi un batardeau modulaire utilisable sur toutes les passes.

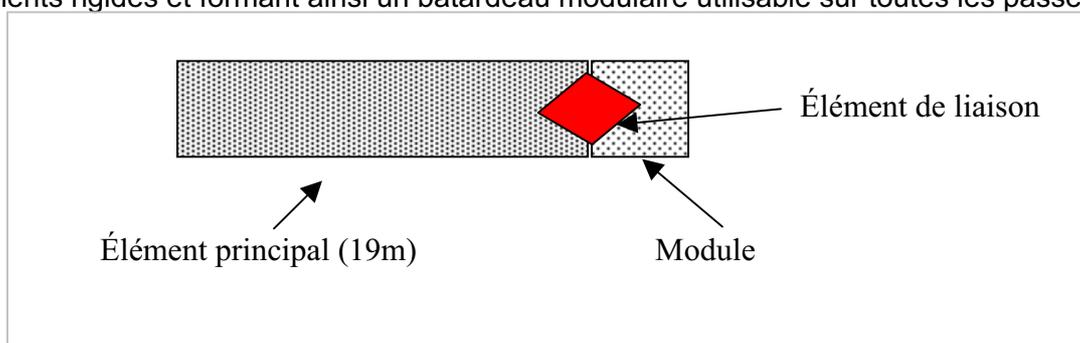


Figure 52 : Batardeau gonflable modulaire

Ce type de batardeau s'adapte avec une certaine souplesse à une passe de largeur légèrement différente (quelques centimètres voire une dizaine de centimètres), contrairement à une structure rigide comme le bois ou l'acier.

6.2.2 AquaTubes¹

www.aquabarrier.com

Description

Cette barrière est constituée d'un tube composé de vinyle et de polyester rempli d'eau. Il existe six hauteurs de tube entre (0,91 m et 2,44 m) pour des longueurs jusqu'à 60 m.

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection



Figure 53 : Installation d'un batardeau AquaTube

Dimensions disponibles

Longueur	30m est un standard et 60m un maximum
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,91 à 2,44 m
Angles possibles horizontalement	Le gonflage du tube limite les courbes. Des angles peuvent être créés par assemblage de tubes.
Nombre de joints verticaux	0
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0
Épaisseur de la structure en base	Dépend de la hauteur du tube

Aspects structurels

Mode de ruine	La structure peut rouler ou glisser
Hauteur d'eau maximum caractéristique	1,8 m
Comportement aux infiltrations	Les infiltrations sont faibles
Comportement face aux brèches	pas de brèche possible
Augmentation de la hauteur en service	Non
Résistance aux dommages et réparation	Le système peut être protégé par un géotextile et être réparé pendant l'utilisation.

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	2 heures pour une équipe
Méthode d'installation	Installation manuelle mais nécessitant des pompes et quelques machines
Possibilité d'installation incorrecte	Des documents précis d'installation sont fournis
Stockage et transport	Peu encombrant. Peut être transporté sur des palettes. Doit être stocké dans un endroit sec
Adaptabilité aux conditions du terrain	Des sols de type sable ou herbe sont mieux adaptés qu'une surface en béton qui nécessite alors des ancrages
Localisation	Beaucoup d'applications mais avec une limitation en fonction de la pente du terrain

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	Réutilisable
Coûts d'installation (100 m de long et 1m de haut)	230 €/m
Ressources pour l'installation	4 personnes, une pompe, matériel de levage
Coûts additionnels	

Autres aspects

Esthétique	Système large par rapport à d'autres
Environnement	Non polluant

6.2.3 Aquadam¹

www.riverside-water.co.uk

Description

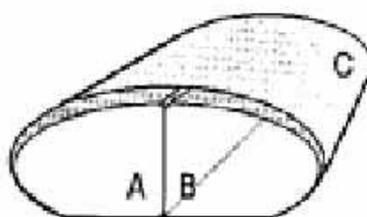


Figure 54 : Batardeau Aquadam

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dans le même genre que l'Aquatube®, l'Aquadam® est composé de trois tubes et est rempli avec de l'eau.

Les longueurs disponibles sont 15, 30 et 60 m pour une hauteur de 0,3 m à 3 m.

Coût pour une barrière de 100 m de long et de 1 m de haut: 11 000 €

6.2.4 Waterwall

Réf: www.cgs.cz/index.php?stranka=4&scid=265

Description

Ce sont des enveloppes de caoutchouc de dimensions modestes destinées à être remplies d'air ou d'eau, et juxtaposées pour former des barrières plus hautes ou plus longues (système à modules). La couche extérieure de caoutchouc est composée de EPDM qui assure une très bonne résistance dans le temps contre le vieillissement, l'ozone et les UV.

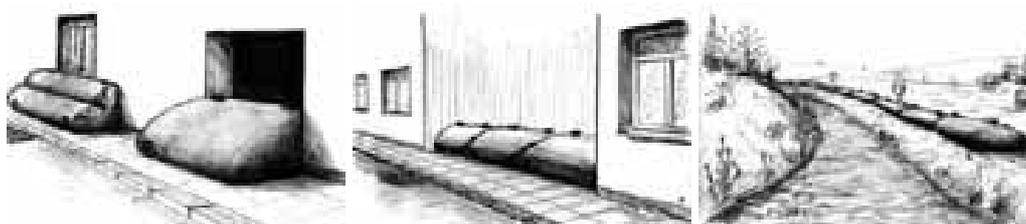


Figure 55 : Utilisation des Waterwall

Pour réaliser une barrière de 100 m de long, il faut à peu près 14 heures pour un seul homme avec les Waterwall Rubena

Ressemblant aux « sacs de sable », ses avantages sur ces derniers concernent surtout la rapidité de mise en place et la facilité de transport, puisque il est plus facile de pomper de l'eau que d'amener et de remplir de sable.

Les dimensions standards sont les suivantes:

	Unité	Modèle A	Modèle B
Longueur	m	5	5
Largeur	m	2.2	1.7
Hauteur	m	0.8	0.8
Volume	l	6800	6570
Poids (vide)	kg	70	75

Ce système de protection contre les inondations pourrait être applicable en batardeau.

6.3 Fiche récapitulative

Batardeaux gonflables



Avantages	Inconvénients
<p>Peu coûteux pour des systèmes avec une portée importante</p> <p>Facilité de transport et de stockage</p> <p>Rapidité d'installation</p> <p>Pas beaucoup de moyens (quelques hommes et une ou deux pompes)</p> <p>Petites réparations réalisables sur site (rustines)</p> <p>Standardisation</p> <p>→ peut être utilisé sur plusieurs barrages ayant des dimensions similaires (quelques centimètres ou dizaines de centimètres de différence est acceptable)</p> <p>→ s'adapte bien à des retenues différentes</p>	<p>Robustesse à confirmer surtout au contact avec les piles</p> <p>Joints à réaliser avec soin</p> <p>Rapport largeur hauteur important</p> <p>Hauteur limitée à 3 m</p> <p>Pas avantageux pour les faibles ouvertures</p> <p>Pour les réparations importantes (tissus affecté) équipe de réparation spécialisée (vulcanisation)</p> <p>Nécessité de plongeurs (modèle Ivoz-Ramet)</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>Pour l'amont et pour l'aval (suivant le producteur il existe une limitation de hauteur du batardeau)</p> <p>Pas de limitation dans la portée (par systèmes modulaires)</p>	

¹ Batardeaux gonflables de Ivoz-Ramet, Barrage d'Ivoz-Ramet, Batardeau Gonflable pertuis aval, Spécification technique (1997)

7 Famille G : Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats

7.1 Description¹

Il est assez difficile de décrire ce groupe de batardeaux de manière générale car il existe plusieurs variantes pour d'une part la structure de soutien qui peut être souple ou rigide et d'autre part le matériau de remplissage qui peut être liquide ou solide et imperméable ou non. Les différentes combinaisons de ces solutions donnent des systèmes de protection difficilement comparables.

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

7.1.1 Batardeau avec matériau de remplissage imperméable

Un premier type de système consiste en des barrières résistantes (cages métalliques...) remplies d'agrégats pour former une barrière de protection. 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.

Vue de profil

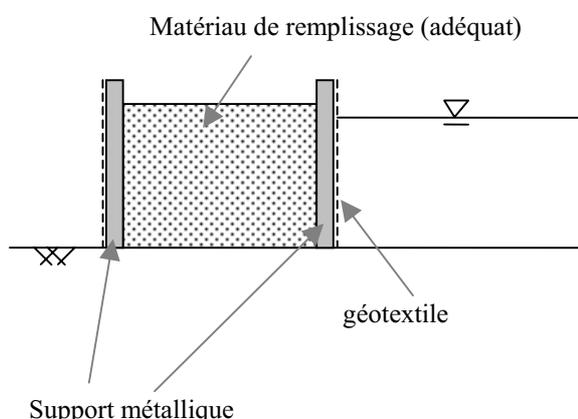


Figure 56 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure à remplir d'un matériau donnant l'étanchéité

Ce type de barrière fonctionne comme un barrage poids. Leur poids procure la stabilité structurelle et l'imperméabilité et empêche la destruction de la structure entière par la force de l'eau.

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, Temporary and Demountable Flood protection

Avantages	Inconvénients
La hauteur de certains systèmes peut être augmentée pendant l'utilisation par gerbage d'éléments.	Le colmatage de certains matériaux rend le nettoyage difficile voire impossible, et les matériaux extraits doivent être récupérés
Peut être généralement installé par du personnel peu qualifié	Pour une défense importante, la largeur doit être importante également ce qui n'est pas toujours possible
Petit espace d'entreposage	Certains supports en métal finissent par se déformer
Adaptable à n'importe quel type de fondation	Les matériaux de remplissage seront probablement de moins bonne qualité après
Remplacement idéal des sacs de sable	Un choix judicieux du géotextile permet de diminuer les problèmes dus aux infiltrations
Utilise facilement les matériaux disponibles sur place pour le remplissage	La pression d'eau est importante

7.1.2 Batardeaux avec enveloppe imperméable

Un second type de barrières ressemblant au précédent peut également être rencontré. La structure extérieure est cette fois imperméable et il y a donc moins de restriction sur le matériau de remplissage (agrégats ou eau). Le rôle essentiel du matériau de remplissage est de donner un poids supplémentaire et de procurer plus ou moins de rigidité.

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

Vue de profil

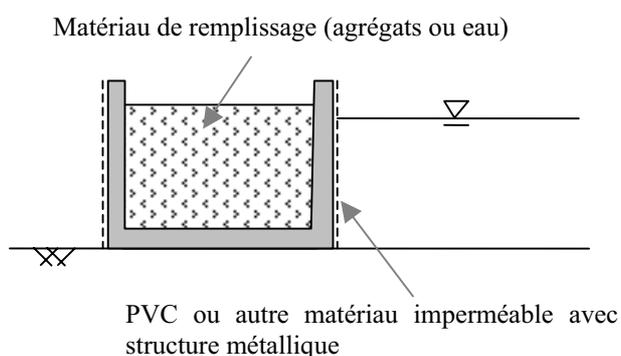


Figure 57 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure imperméable à remplir d'un matériau

Avantages	Inconvénients
La hauteur de certains systèmes peut être augmentée pendant l'utilisation par gerbage d'éléments.	La majorité des systèmes n'est généralement pas testée en conditions de crues
L'imperméabilité ne dépend pas du matériau de remplissage	Une infiltration importante sous l'ouvrage est possible à cause de la rigidité de la structure
Peut être rempli avec n'importe quel matériau disponible (même de l'eau)	Importante opération pour la mise en place et le démontage
Facilement nettoyé et réutilisable	Grande structure à stocker et à transporter
Des petites réparations de défauts peuvent être réalisées sur place	La pression d'eau est importante

7.2 Exemples

7.2.1 Système de protection modulaire MRP¹

Ref: www.ukmrp.com ou www.1tvq.com/mrp_systems_main.htm

Description

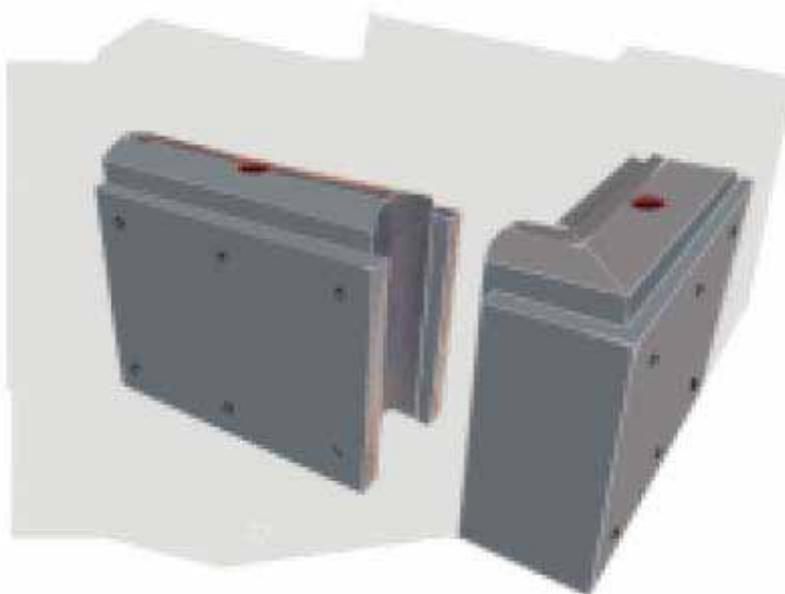


Figure 58 : Système MRP modulaire

Ce système est composé d'une série de blocs creux en plastique et moulés de telle sorte qu'en s'imbriquant ils forment une barrière. Des trous à la surface supérieure de chaque bloc permettent le remplissage avec du sable ou tout autre matériau.

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dimensions disponibles

Longueur	Minimum : 0,5m de long, 0,75m de haut et 0,5m de large Maximum : 1m de long, 0,75m de haut et 0,5m de large
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur maximum	Les blocs ont une hauteur de 0,75m ou 0,375m mais peuvent être empilés jusqu'à une hauteur de 6m
Angles possibles horizontalement	90° grâce à la structure en blocs
Nombre de joints verticaux	2
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0
Épaisseur de la structure en base	0,5m

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverse et infiltration
Hauteur d'eau maximum caractéristique	Pas de données
Comportement aux infiltrations	Infiltrations possibles
Comportement face aux brèches	Pas de données
Augmentation de la hauteur en service	Possible en ajoutant d'autres éléments en portant une attention à la stabilité
Résistance aux dommages et réparation	Les blocs sont très résistants et sont réparables

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	4 heures
Méthode d'installation	Installation manuelle.
Possibilité d'installation incorrecte	Peu probable vue la simplicité du système
Stockage et transport	Des camions sont nécessaires pour le transport jusqu'au site.
Adaptabilité aux conditions du terrain	Le sol doit être plat
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Des fixations doivent être prévues. Les fixations augmentent la stabilité
Localisation	Pas dans le cas de houle importante

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	Pas de maintenance et réutilisable facilement. Les blocs sont très résistants aux dommages et peuvent être réparés.
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	70 000 € (prix comprenant pompes, fixations et livraison des conteneurs)
Ressources pour l'installation	Minimum 2 personnes, 3 mœurs. Camions pour transporter les blocs
Coûts additionnels	MRP peut installer les blocs moyennant coûts supplémentaires

Autres aspects

Esthétique	Pas spécialement inesthétique
Environnement	Non polluant

7.2.2 Barrière de protection Dura-Bull¹

www.soacorp.com

Description

Ce système de protection est composé de blocs en plastique vide qui peuvent être remplis avec de l'eau ou du sable grâce à deux trous de 100mm en partie supérieure. Ils sont construits en polyéthylène recyclé avec un traitement de protection contre les UV.



Figure 59 : Batardeau Bura-Bull

Dimensions disponibles

Longueur	1,2m, 1,8m, 2,4m et 3m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,6m à 1,35m
Angles possibles horizontalement	Oui mais pas de courbes possibles
Nombre de joints verticaux	2
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0
Épaisseur de la structure en base	0,8m

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverse, infiltration
Hauteur d'eau maximum caractéristique	1,2m
Comportement aux infiltrations	Les infiltrations à travers la barrière → pompage
Comportement face aux brèches	Une brèche ne peut conduire à la ruine
Augmentation de la hauteur en service	Pas empilage d'éléments
Résistance aux dommages et réparation	Résistant et possible de réparer pendant l'utilisation.

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100 m de long 0,75 m de haut)	2 heures pour une équipe de 4 personnes
Méthode d'installation	Installation manuelle
Possibilité d'installation incorrecte	Simple à installer
Stockage et transport	Les blocs doivent être transportés sur site par camion ainsi que le sable de remplissage
Adaptabilité aux conditions du terrain	Le sol doit être assez plat
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Pas de fixations
Localisation	Beaucoup d'applications possibles

Aspects financiers

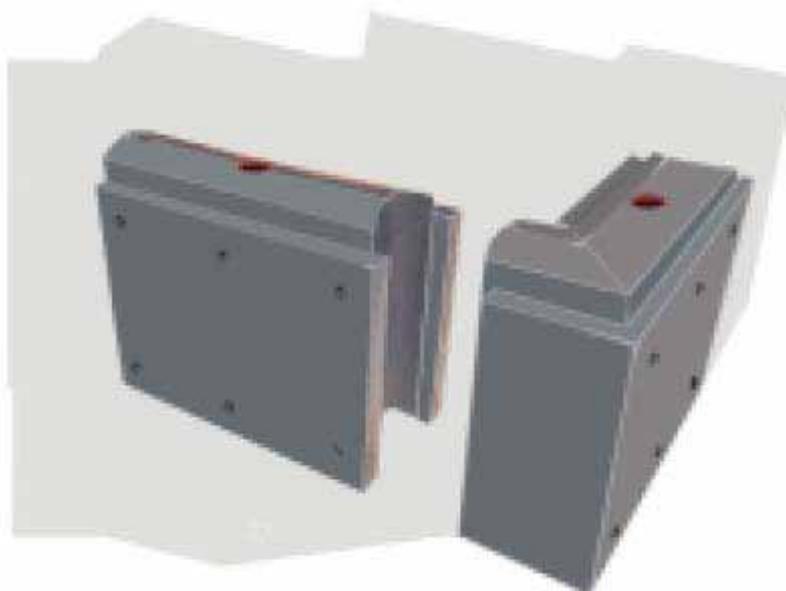
Maintenance / réutilisation / durabilité	Peu de maintenance, simple nettoyage. Réutilisable. Durée de vie de 10 ans
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	19 000 €/m
Ressources pour l'installation	4 personnes min, une pompe si remplissage des blocs avec de l'eau
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Voyant (couleur) mais propre
Environnement	Non polluant

7.3 Fiche récapitulative

Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats



1

Avantages	Inconvénients
<p>Pas d'exigence sur les matériaux de remplissage (même eaux si structure étanche)</p> <p>Augmentation de la hauteur possible mais attention à la stabilité</p> <p>Blocs rigides → bonne résistance</p> <p>Pas besoin de beaucoup de moyens (installation manuelle mais camion pour le transport)</p> <p>Pas de maintenance</p>	<p>Mise en place assez longue (surtout vidange)</p> <p>Transport du matériau de remplissage sauf si possibilité d'utiliser de l'eau</p> <p>Si petits éléments beaucoup de joints</p> <p>Volume de stockage important</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>En général pour l'aval (car limitation de hauteur)</p> <p>Pas de limitation de portée</p>	

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

8 Famille H : Batardeaux composés de structures soutenant une membrane étanche

8.1 Description¹

Cette protection est composée de structures métalliques assurant la résistance aux pressions et supportant une membrane imperméable.

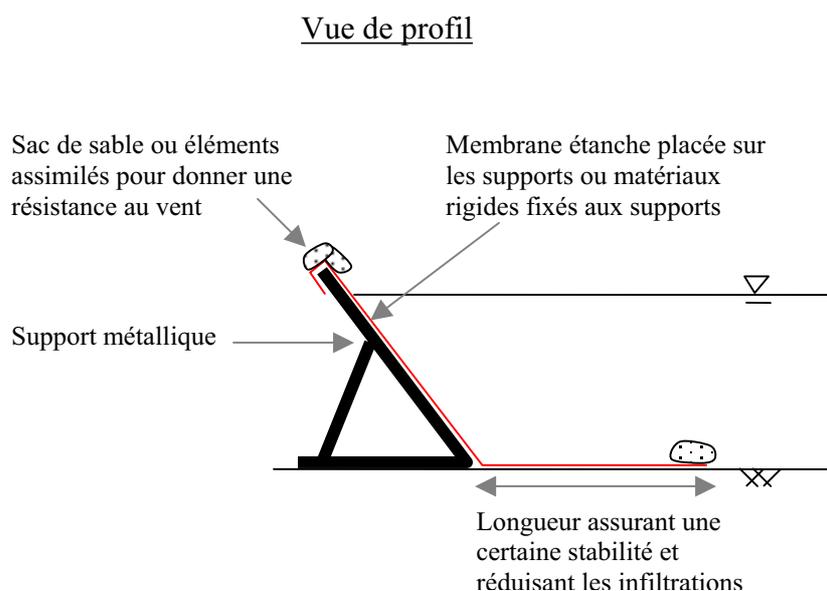


Figure 60 : Schématisation (coupe en travers) d'un batardeau composé d'une structure servant de support et dont l'étanchéité est réalisée par un matériau de couverture

Avantages	Inconvénients
S'adapte bien aux irrégularités du terrain	La membrane est sensible aux vents importants
La hauteur de certains systèmes peut être augmentée pendant l'utilisation	Pression importante sur le sol
Facilement nettoyé et réutilisable	Possibilité de fuites pour un faible niveau d'eau
Les petites réparations peuvent être effectuées en service	Transport important et place de stockage importante
	Sensible au vandalisme et aux accidents

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, Temporary and Demountable Flood protection

8.2 Exemples

8.2.1 Portadam

Réf: www.portadam.com

Description

Portadam® est un concept innovant de batardeau portable utilisé pour des profondeurs allant jusqu'à 2,5 m (mais leurs études montrent qu'il pourrait aller jusqu'à 3,65m).



Figure 61 : Portadam utilisé en vue de la canalisation de cours d'eau

Les structures Portadam 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 d'un support métallique et d'une membrane étanche. Ce procédé ne requiert donc aucune excavation ou remblai, piles intermédiaires, sacs de sables, ancrages... et peut être installé dans n'importe quelle configuration.

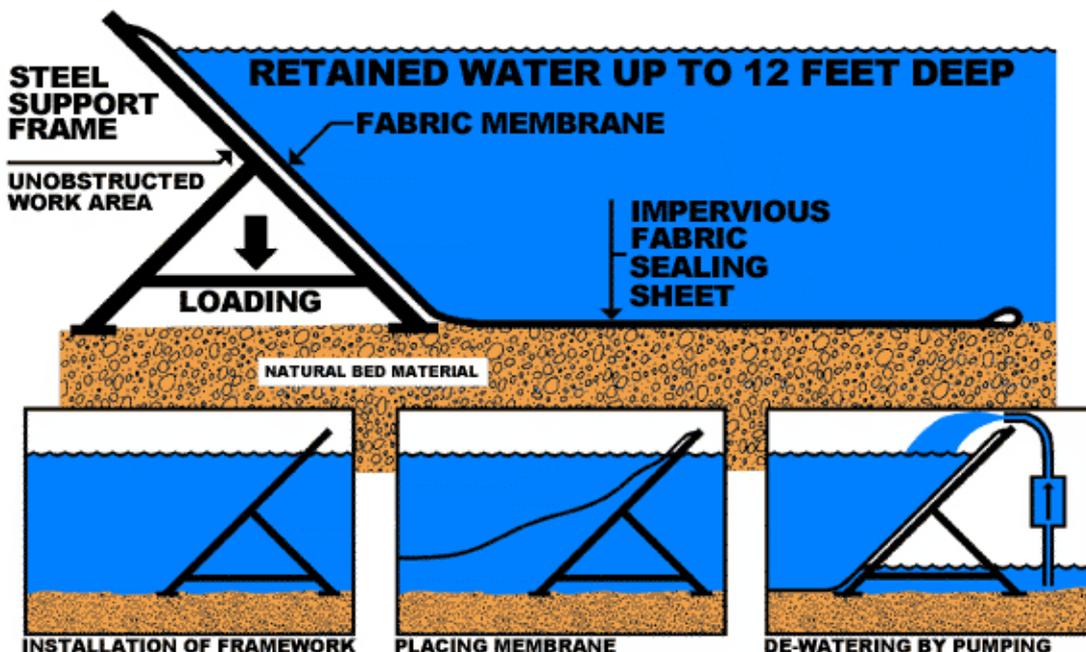


Figure 62 : Système Portadam

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 de fretage.

Dimensions disponibles

Longueur	Éléments de 6m et 10m. La plus longue barrière installée a une longueur de 250m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	2,5m
Angles possibles horizontalement	Le système est flexible et permet les courbes
Nombre de joints verticaux	0
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	1 joint à chaque changement de membrane
Épaisseur de la structure en base	4,5m

Aspects structurels

Mode de ruine	Renversement, surverse, capacité portante, glissement
Hauteur d'eau maximum caractéristique	2,5m
Comportement aux infiltrations	Un pompage est nécessaire pour garder l'espace batardé au sec
Comportement face aux brèches	Seule une partie du système est endommagée
Augmentation de la hauteur en service	Non
Résistance aux dommages et réparation	Sensible au vandalisme mais les réparations peuvent être effectuées sur site.

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	2 à 5 jours
Méthode d'installation	Installation manuelle.
Possibilité d'installation incorrecte	Installation par Portadam
Stockage et transport	Pas de conditions de stockage particulières.
Adaptabilité aux conditions du terrain	Le système convient à tous types de sols. Aucun système de fixation supplémentaire n'est nécessaire
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Pas de fixations
Localisation	Ce système convient à beaucoup de configurations

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	La durée de vie est de plus de 20 ans. Réutilisable
Coûts d'installation (100m de long et 1m de haut)	530 €/m
Ressources pour l'installation	2 à 3 personnes et un camion pour transporter les éléments
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Peu esthétique
Environnement	Non polluant

Remarque : ce système est uniquement en location, la société Portadam n'offrant pas la possibilité d'acheter des modules.

8.2.2 Batardeau avec palettes et supports métalliques¹

Réf: www.géodesign.se

Description

Ces systèmes sont composés de supports en acier galvanisé qui soutiennent des palettes en bois aux standards européens. Les supports sont espacés de 1,2m et supportent deux demi- palettes. Les palettes sont fixées au support et couvertes par une membrane étanche en polypropylène. En partie supérieure la membrane peut être fixée par un système mécanique ou simplement bloquée par des sacs de sables.



Figure 63 : Batardeau avec palettes et supports métalliques

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dimensions disponibles

Longueur	0,8 m si les palettes sont debout 1,2 m si les palettes sont couchées
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,65m, 0,95m, 1,25m, 1,8m
Angles possibles horizontalement	Le système est assez flexible
Nombre de joints verticaux	1 de chaque côté de la palette par recouvrement des membranes
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0
Épaisseur de la structure en base	Selon la hauteur (de 1,15 à 2,15 m)

Aspects structurels

Mode de ruine	Glissement, surverse
Hauteur d'eau maximum caractéristique	1,8 m
Comportement aux infiltrations	Infiltrations possibles par le dessous de la structure et si problème d'étanchéité entre la structure et la membrane
Comportement face aux brèches	Système modulaire donc seule une partie du batardeau est affectée
Augmentation de la hauteur en service	Possible en fonction de la stratégie de construction et d'empilage des éléments
Résistance aux dommages et réparation	La membrane est sensible aux déchirures mais elle peut être réparée en service par des feuilles de plastique

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	18 personnes pendant une heure
Méthode d'installation	Installation manuelle.
Possibilité d'installation incorrecte	Peu probable vue la simplicité du système
Stockage et transport	Pas de conditions de stockage particulières. Des camions sont nécessaires pour le transport jusqu'au site.
Adaptabilité aux conditions du terrain	Le système convient à un sol plat ou en pente. Aucun système de fixation supplémentaire n'est nécessaire
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Pas de fixations permanentes
Localisation	Ce système convient à beaucoup de configurations

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	La dégradation avec le temps est généralement faible excepté pour la membrane. Les éléments doivent être changés en moyenne tous les 10 ans. Le système est très facilement réutilisable
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	220 € plus le prix de la membrane
Ressources pour l'installation	Le nombre de personnes est variable mais pour la fixation une seule suffit
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Pas spécialement inesthétique
Environnement	Non polluant

8.3 Fiche récapitulative

Batardeaux composés d'une structure soutenant une membrane étanche



1

Avantages	Inconvénients
Faible espace de stockage Pas besoin de beaucoup de moyens pour l'installation	La membrane est un élément sensible Danger de glissement Hauteurs limitées
Gamme d'utilisation	
Batardeau de maintenance En général pour l'aval (limitation de hauteur) Pas de limitation de portée	

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

9 Famille I : Batardeaux auto-étanches

9.1 Description¹

Ce type de barrières de protection ressemble à la précédente excepté que celles-ci sont composées de sections "autoportantes" en matériaux "renforcés" et étanches, ainsi l'étanchéité et la résistance est réalisée par la même structure contrairement à la famille H.

Vue de profil

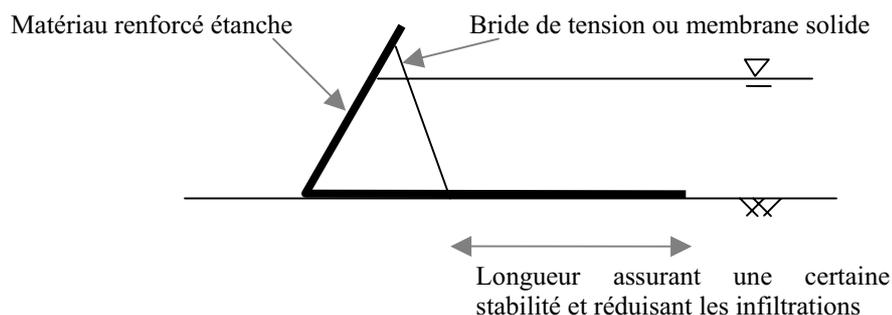


Figure 64 : Schématisation de la variante du batardeau précédent, sans membrane d'étanchéité

Avantages	Inconvénients
Rapide et facile à installer	Fuites possibles pour un faible niveau d'eau
Pas d'équipement machine pour l'installation	La structure peut bouger sous des vents importants
Pas beaucoup de place pour le stockage	Sensible au vandalisme et aux accidents
Facilement transportable en camionnette	
Faible pression d'eau sur la surface résistante	
Peu d'équipement pour la mise en place, le démontage	
Facilement nettoyé et réutilisable	

9.1.1 Les batardeaux avec fixations permanentes

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

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, Temporary and Demountable Flood protection

Vue de profil

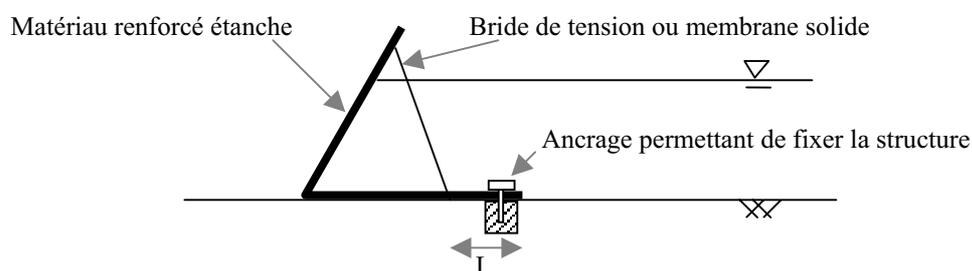


Figure 65 : Schématisation de la variante de batardeaux avec fixations permanentes dans la fondation

Dans ce cas, la longueur L (Figure 65) est plus courte que dans le cas où il n'y a pas de fixation.

Avantages	Inconvénients
Rapide et facile à installer	Sensible au vandalisme et aux accidents
Peu d'espace de stockage nécessaire	Les hauteurs ne sont pas variables
Facilement transportable en camionnette	
Peu de moyen pour l'installation et le démontage	
Facilement nettoyé et réutilisable	

9.1.2 Structures rigides

Ces barrières de protection sont composées de panneaux préfabriqués en béton, en acier, ou autres éléments rigides assemblés entre eux pour former une barrière étanche.

Vue de profil

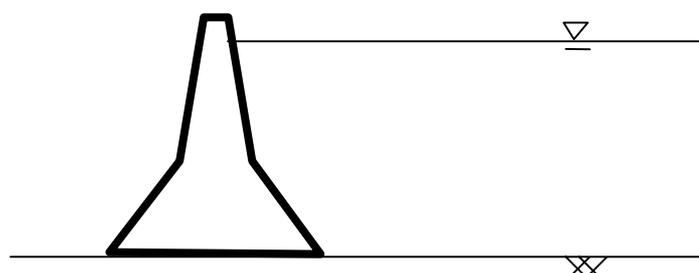


Figure 66 : Batardeau composé d'une structure rigide

Avantages	Inconvénients
La hauteur de certains systèmes peut être augmentée pendant le service	Équipements de manutention importants
Grande résistance aux impacts et au vandalisme	Infiltration probable sous l'ouvrage
Durable et réutilisable	Les réparations ne sont pas possibles pendant le service
	Pas facilement adaptable aux coins

9.2 Exemples

9.2.1 Rapidam¹

Réf: www.hydroscience.co.uk

Description

Rapidam est un système de protection anti-crue portable et réutilisable. Il existe deux versions de ce type de barrière. Le premier est une barrière (flexible) de protection avec systèmes de fixations intégrés à utiliser pour des opérations planifiées en site urbain. Des "stabilisateurs" doivent être installés préalablement sur le site. Le deuxième système est une barrière de protection autoportante ne nécessitant pas de préparation préalable du site. Ce système est composé de structures triangulaires en PVC qui sont réunies pour former une barrière. Il peut être transporté et utilisé dans des situations d'urgence ou planifiées. Il est utilisable en site rural comme urbain.



Figure 67 : Système de protection Rapidam

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dimensions disponibles

Longueur	4 m minimum et 30 m maximum
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	Hauteur maximum de 1m (un système de 2m est en étude actuellement)
Angles possibles horizontalement	Pas de problème dans les angles ou les courbes
Nombre de joints verticaux	2
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0
Épaisseur de la structure en base	1,34 m pour la version standard et 4,42m pour les structures autoportantes

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverse, perforation, glissement pour les structures autoportantes
Hauteur d'eau maximum caractéristique	1m
Comportement aux infiltrations	Les tests montrent une étanchéité de 99%
Comportement face aux brèches	La structure est sensible aux perforations mais elles n'entraînent pas la ruine totale de la barrière
Augmentation de la hauteur en service	Non
Résistance aux dommages et réparation	La structure est en PVC très résistant avec des additifs spéciaux UV et fongicides. Le système est sensible au vandalisme

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	2 personnes pendant 3 heures
Méthode d'installation	Installation manuelle.
Possibilité d'installation incorrecte	Système simple
Stockage et transport	Faible espace de stockage. Un stockage dans un endroit sec, à l'abri du soleil et de contamination chimique augmente la durée de vie des structures.
Adaptabilité aux conditions du terrain	Pratiquement sur n'importe quel sol. Pour placer des structures autoportantes sur une crête, il faut une largeur minimum.
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Seuls les systèmes démontables nécessitent des fixations.
Localisation	Ce système convient à beaucoup de sites ayant une ouverture à combler de plus de 4m.

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	La durée de vie est de 5 à 10 ans. La maintenance se limite à un nettoyage et à une vérification de l'état des éléments
Coûts d'installation (100m de long et 1m de haut)	40 000 €
Ressources pour l'installation	2 hommes plus un moyen de transport si le site est loin du lieu de stockage
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Pas spécialement inesthétique
Environnement	Non polluant

9.2.2 Barrière de protection anti-cruie Richardson¹

Description

Les barrières Richardson sont des barrières métalliques et en béton préfabriquées de différentes tailles. Certains modèles sont plus légers pour permettre une installation manuelle.

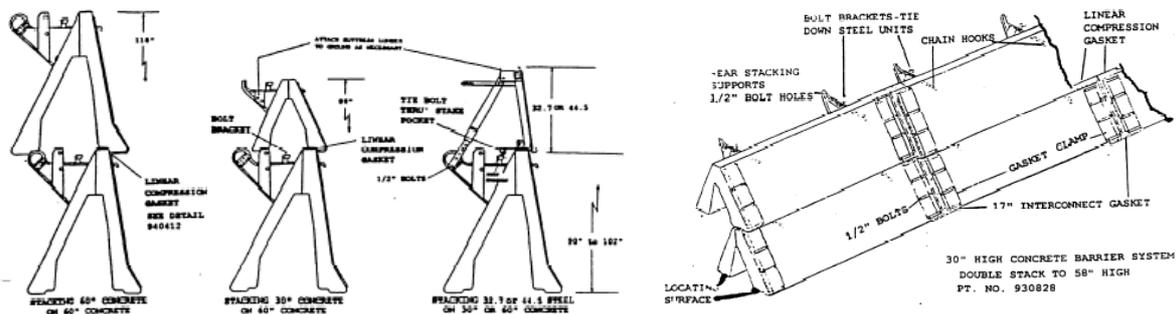


Figure 68 : Barrière de protection Richardson²

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection.

² Contact: Richardson Flood Control Product, 105 Gardenia Court, Upland, CA 91786, USA
tel: (+1)909 982 8479 mail: res07wdg@verizon.net

Dimensions disponibles

Longueur	2,4 m à 6 m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,4 m à 1,5 m
Angles possibles horizontalement	Les différents éléments sont interconnectés par des profils assez souples autorisant les structures courbes ou angulaires
Nombre de joints verticaux	1 par élément
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	0 ou 1 si les structures sont empilées en hauteur
Épaisseur de la structure en base	0,6 à 1,2m

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverse, infiltration, capacité portante
Hauteur d'eau maximum caractéristique	Hauteur de la barrière
Comportement aux infiltrations	
Comportement face aux brèches	La ruine de la structure ne devrait pas être induite vue la stabilité et le poids de la barrière
Augmentation de la hauteur en service	Oui
Résistance aux dommages et réparation	La structure en acier et en béton la rend très résistante

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	
Méthode d'installation	Installation manuelle ou avec équipement plus lourd
Possibilité d'installation incorrecte	
Stockage et transport	L'espace de stockage est assez important et des camions sont nécessaires pour le transport
Adaptabilité aux conditions du terrain	Des sols de type sable ou herbe sont mieux adaptés qu'une surface en béton qui nécessite des ancrages
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Pas de fixations
Localisation	Pas comme protection directe contre la houle

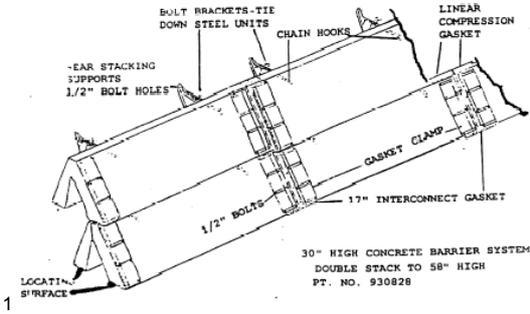
Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	En plus du nettoyage, un traitement anti-rouille doit être prévu. Ces structures ont une longue durée de vie
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	
Ressources pour l'installation	Machines pour le transport, le levage, ...
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Pas très esthétique (béton et acier)
Environnement	Non polluant

9.3 Fiche récapitulative

Batardeaux avec structure auto-étanche	
 <p style="text-align: center;">30" HIGH CONCRETE BARRIER SYSTEM DOUBLE STACK TO 58" HIGH PT. NO. 930828</p>	
Avantages	Inconvénients
<p>Moyens variables selon le poids de la structure, mais généralement faibles</p>	<p>Fuites possibles pour les faibles niveaux d'eau</p> <p>Peut bouger sous des vents importants</p> <p>Sensible au vandalisme</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>En général pour l'aval (limitation de hauteur)</p> <p>Pas de limitation de portée</p>	

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

10 Famille J : Batardeaux escamotables

10.1 Description¹

Ces barrières sont composées soit de matériaux rigides comme l'acier ou les fibres de verre. Elles sont déjà pré-installées et sont déployées en cas de besoin.

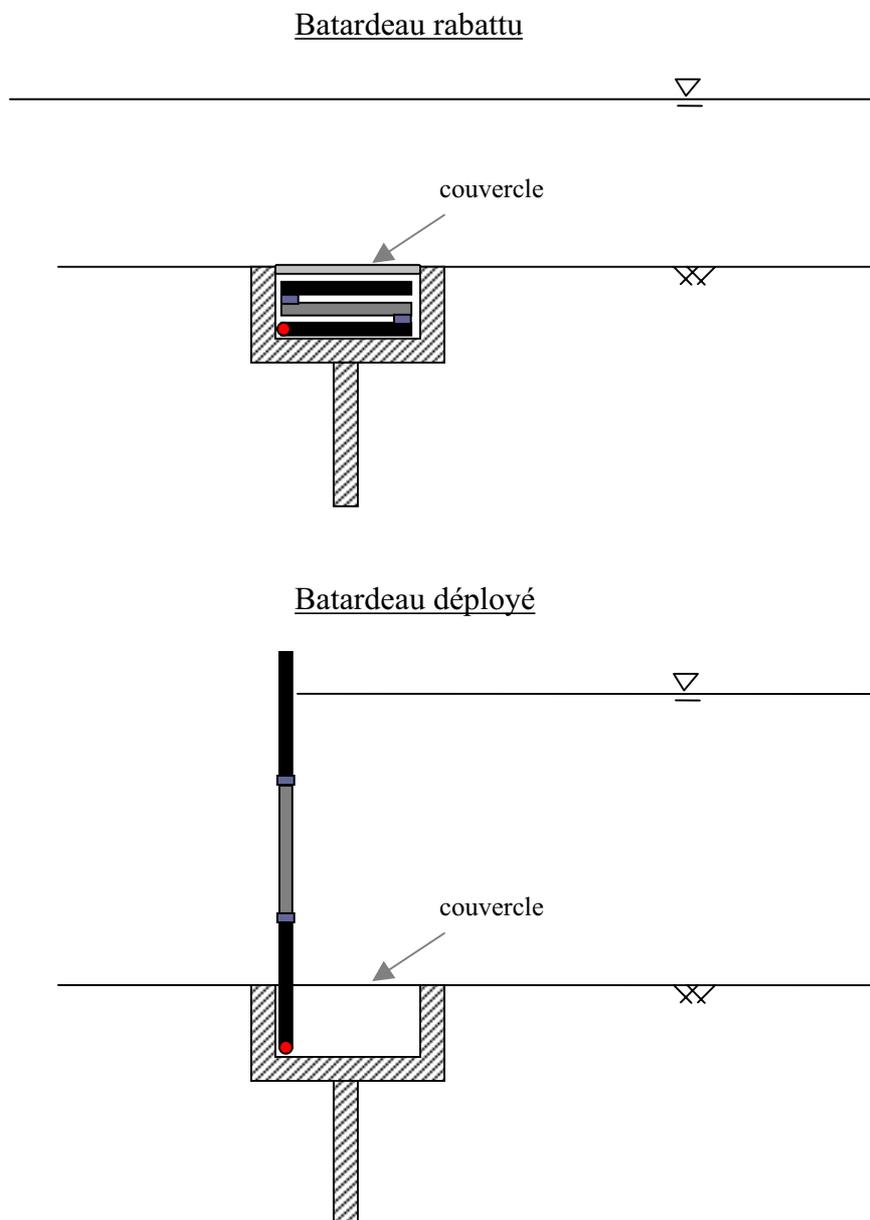


Figure 69 : Schématisation des batardeaux escamotables

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, Temporary and Demountable Flood protection

Avantages	Inconvénients
Pas d'installation pendant la crue	La hauteur ne peut être augmentée
Opérations faciles et rapides	Possibilité de panne dans le système électrique ou blocage du système mécanique
Pas de stockage ou de transport	Problème de conflit dans l'utilisation des opérations automatiques
Stable et grande résistance aux impacts	

10.2 Exemples

10.2.1 Porte anti-crue Presray

Réf: www.presray.com

Description

Ce système est plus une protection contre les inondations qu'un système de batardage mais une variante pourrait être utilisée.

Les portes anti-crue Presray sont des portes de type panneaux fabriquées par la société anglaise Dam-it. Les portes peuvent être levées ou abaissées par des systèmes manuels ou automatiques.

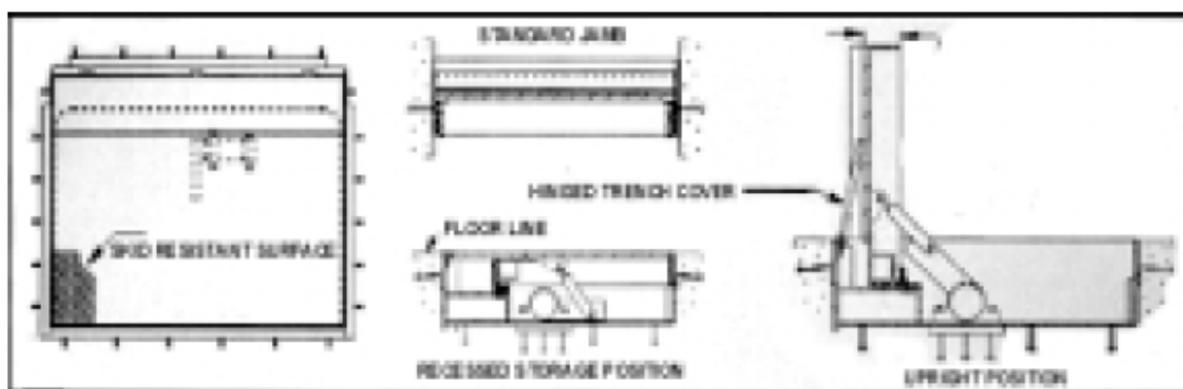


Figure 70 : Porte Presray

Dimensions disponibles

Longueur	3m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	Hauteur maximum de 3m
Angles possibles horizontalement	Le système peut être conçu pour des angles mais pas pour des courbes
Nombre de joints verticaux	2
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	1
Épaisseur de la structure en base	Dépend du modèle mais quand la porte est couchée, elle prend une place plus ou moins égale à sa hauteur

Aspects structurels

Mode de ruine	surverse
Hauteur d'eau maximum caractéristique	2,5m
Comportement aux infiltrations	Les tests montrent une infiltration nulle
Comportement face aux brèches	Les brèches ne sont pas considérées comme possibles vues les hypothèses de dimensionnement
Augmentation de la hauteur en service	Non
Résistance aux dommages et réparation	Résistant aux dommages et au vandalisme mais les réparations peuvent être effectuées sur site du côté sec.

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	15 minutes par panneau soit 8 heures pour une personne pour une barrière de 100m
Méthode d'installation	Installation manuelle.
Possibilité d'installation incorrecte	Impossible
Stockage et transport	Aucun stockage. La barrière est utilisée directement à partir de son point de rangement
Adaptabilité aux conditions du terrain	Uniquement sur du béton
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Le vandalisme n'est pas un problème. Il n'y a pas de fixation aux murs mais des joints pneumatiques qui se gonflent.
Localisation	Ce système convient à beaucoup de configurations du moment qu'il y ait une fondation en béton

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	La maintenance consiste en la vérification des joints et des parties mécaniques. Les joints doivent être remplacés tous les 5 ans
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	375 000 € à 450 000 € pour une installation manuelle.
Ressources pour l'installation	Cela dépend si l'exploitation est manuelle ou automatique
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Pas spécialement inesthétique
Environnement	Non polluant

10.2.2 Dutchdam¹

www.dutchdam.nl

Description

Dutchdam est un système de protection escamotable. Il y a deux modèles. Les fondations sont différentes et la hauteur de protection est de 1m ou 1,5m.

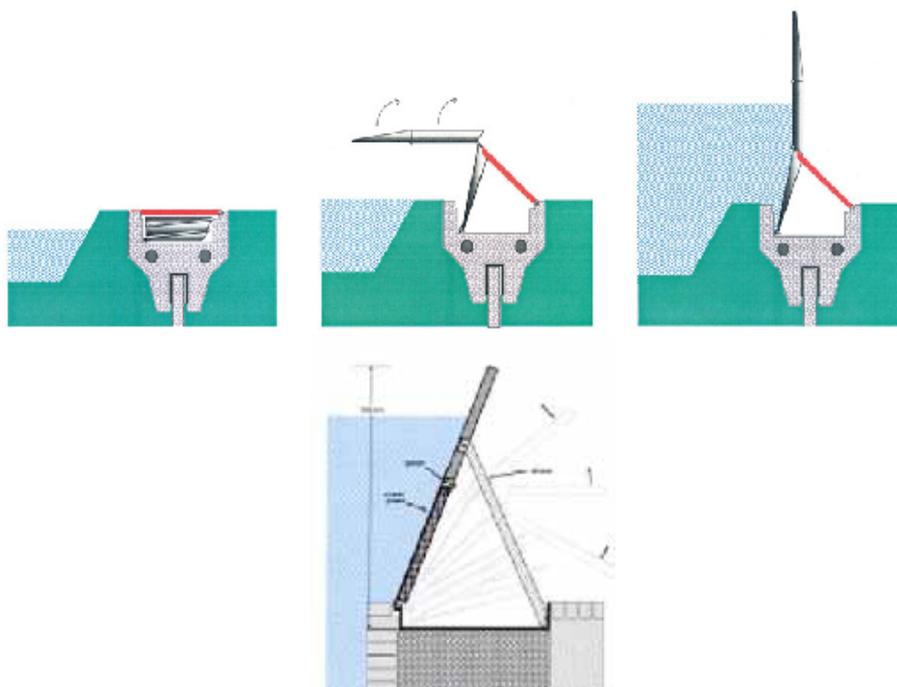


Figure 71 : Barrières Dutchdam

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

Dimensions disponibles

Longueur	3m
Nombre d'éléments maximum	Pas de limite
Hauteur disponible	0,6m, 0,8m, 1m, 1,25m 1,5m
Angles possibles horizontalement	Possible dans les courbes ou les angles.
Nombre de joints verticaux	1 par élément de 3m
Nombre de joints horizontaux par unité de largeur	2
Épaisseur de la structure en base	0,3m à 0,8m

Aspects structurels

Mode de ruine	Surverset
Hauteur d'eau maximum caractéristique	1m ou 1,5m suivant le modèle
Comportement aux infiltrations	Système garanti étanche
Comportement face aux brèches	La construction est stable et durable
Augmentation de la hauteur en service	Non
Résistance aux dommages et réparation	Pas susceptible au vandalisme. Les réparations peuvent être entreprises en service

Aspects opérationnels

Temps d'installation (100m de long 0,75m de haut)	Une équipe de deux personnes pendant 3 à 4 heures
Méthode d'installation	Installation manuelle car elle est déjà en place, il faut la mettre en service
Possibilité d'installation incorrecte	Pas possible
Stockage et transport	Aucun car la barrière est en place
Adaptabilité aux conditions du terrain	Lors de l'installation initiale, la fondation doit être mise en place
Fixations / Sensibilité au vandalisme	Pas de fixations
Localisation	Beaucoup d'applications possibles

Aspects financiers

Maintenance / réutilisation / durabilité	Peu de maintenance, simple nettoyage. Réutilisable. Durée de vie de 50 ans
Coûts d'installation (100M de long et 1m de haut)	1 150 €/m soit 115 000 €
Ressources pour l'installation	Outils de blocage de la barrière
Coûts additionnels	

Autres aspect

Esthétique	Aspect moderne et entièrement repliable dans son logement
Environnement	Non polluant

10.2.3 Solutions de la firme italienne Jollytech

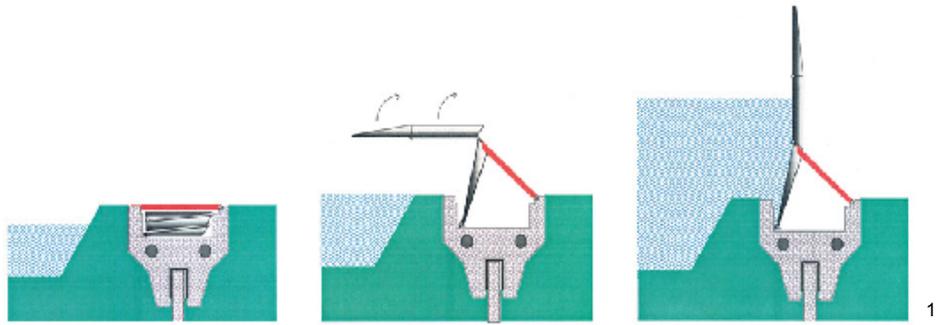
<http://web.tiscali.it/jollytech/>

Cette société propose différents produits de contrôle des eaux à base de membranes ou de tubes gonflables caoutchouteux. L'un de ceux-ci est une barrière pré-installée composée d'un volet métallique qu'on relève par gonflage d'un boudin sous-jacent.



Figure 72 : Système Hydro Air Bag™ de Jollytech

10.3 Fiche récapitulative

Batardeaux escamotables	
	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur fixe Panne possible dans le système mécanique Non utilisable sur un autre site (structure fixée) Coût important Logement dans le radier Hauteurs limitées Inconnue sur la possibilité et la durée de vie sous l'eau
Gamme d'utilisation	
<ul style="list-style-type: none"> Batardeau de maintenance Batardeau de secours En général pour l'amont (structure importante) mais pour l'aval aussi Pas de limitation de portée Hauteurs limitées 	

¹ DEFRA/Environment Agency, Flood and Coastal defence R&D Programme, Temporary and demountable flood protection

11 Famille K : Batardeaux ventouse

11.1 Description

Il s'agit d'un batardeau permettant la mise à sec d'une partie seulement de la bouchure, et prenant appui latéralement soit uniquement sur d'autres parties de la bouchure, soit sur le génie civil également. Utilisé par exemple pour mettre à sec une hausse (Aubert, Chanoine...) en prenant appui sur les hausses adjacentes, ou pour accéder aux fixations de vérins et joints d'étanchéité de clapets.

11.2 Exemples

11.2.1 Seine Amont

Des batardeaux de ce type sont utilisables sur plusieurs barrages à clapet de la Seine amont.

Le batardeau de type caisson flottant (voir § F) existant est intéressant d'un point de vue théorique mais pratiquement il demande beaucoup de moyens pour son installation. C'est pourquoi les exploitants ont préféré une autre technique pour des réparations locales sur les joints des clapets et sur les vérins.

Les batardeaux dits à ventouse sont des structures métalliques qui viennent se placer sur les clapets et forment ainsi un espace étanche dans le coin de la passe permettant d'effectuer la maintenance des vérins ou des articulations.





Figure 73 : Batardeau ventouse

11.2.2 Barrage de Roanne

Des batardeaux de ce type sont utilisés au barrage de Roanne (Loire) pour la maintenance des hausses Aubert. L'intervention est ici possible aussi à l'aval de la hausse batardée car le radier aval est découvert au niveau normal aval.



Figure 74 : Mise en place d'un batardeau ventouse à Roanne

11.3 Fiche récapitulative

Batardeaux ventouse



Avantages	Inconvénients
<p>Peu coûteux</p> <p>Uniquement pour les travaux ponctuels → ne nécessite pas le placement de tout un batardeau quand ce n'est pas nécessaire</p>	<p>Nécessite un lieu de stockage et de l'entretien</p> <p>Uniquement pour les travaux ponctuels</p>
Gamme d'utilisation	
<p>Batardeau de maintenance</p> <p>Pour l'amont ou l'aval</p> <p>Utilisation locale</p>	

¹ Batardeau ventouse, Seine amont, avril 2004

Chapitre III Comparatif des batardeaux

1 Synthèse

Un catalogue de quelques pages reprend dans un tableau les différents types de batardeaux, donne les avantages, les inconvénients, la gamme d'utilisation. Le tableau ci-dessous a un but beaucoup plus synthétique, il permet de voir en un coup d'œil les avantages et les inconvénients des principaux batardeaux.

Type de batardeau	Simplicité de mise en place/Préparation du batardeau/Moyens	Temps de mise en place	Coût construction	Coût entretien	Utilisation sur plusieurs sites	Étanchéité, Sécurité	Nécessité de plongeurs
A	Aiguilles	☹️	😊	😊	😊	☹️	☹️
B	Poutres	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Panneaux	☹️	😊	😊	☹️	😊	😊
C	Éléments modulaires	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Plaque	😊	☹️	😊	☹️	😊	☹️
D	Poutrelles avec poteaux intermédiaires/Planchettes	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Poutrelles avec poteaux intermédiaires/Plaques aluminium	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Poutrelles petits éléments	😊	☹️	😊	😊	😊	😊
	Poteaux à béquilles et plaques métalliques	😊	☹️	😊	😊	😊	😊

Catalogue des batardeaux de maintenance et de secours

	Type de batardeau	Simplicité de mise en place/Préparation du batardeau/Moyens	Temps de mise en place	Coût construction	Coût entretien	Utilisation sur plusieurs sites	Étanchéité, Sécurité	Nécessité de plongeurs
E	Bateau porte	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😊
	Batardeau flottant	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😊
F	Gonflable	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
G	Structure à remplir	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊
H	Structure soutenant membrane étanche	😊	😞	😊	😊	😊	😞	😊
I	Structure auto-étanche	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
J	Batardeau escamotable	😊	😊	😞	😊	😞	😊	😊
K	Batardeau ventouse	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😊

2 Comparaison détaillée

Famille A : Batardeaux à aiguilles				
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients	
1 Batardeaux à aiguilles (général)	<p>Batardeau de maintenance Généralement pour batardeau amont</p> <p>Pas de limitation de longueur</p> <p>La hauteur de retenue est limitée par la dimension des aiguilles, leur longueur, leur poids et donc aussi leur mise en place</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>Système bien connu et éprouvé</p> <p>Simplicité apparente de mise en place</p> <p>Pas de limitation de longueur</p> <p>Ne nécessite pas beaucoup de moyens (installation manuelle)</p> <p>Système durable</p> <p>Coût réduit (à la construction)</p> <p>Éléments faciles à déplacer d'un site à l'autre</p> <p>Aiguilles utilisables pour plusieurs sites ayant des hauteurs de retenue différentes</p> <p>Meilleure étanchéité</p>	<p>Sentiment d'insécurité</p> <p>Mauvaise étanchéité</p> <p>Problème d'étanchéité latérale</p> <p>Danger de rupture des aiguilles</p> <p>Présence de plongeurs (plus risque d'aspiration des plongeurs si la fuite de la vanne est trop importante)</p> <p>Temps de mise en place important</p> <p>Problème de fiabilité dû au nombre d'éléments d'accident plus importante)</p> <p>Augmente le temps de mise en place</p> <p>Portée limitée</p>	
2 Avec membrane (polyane)				
3 Avec poutre de tête flottante	<p>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</p>			

Famille B : Batardeaux à poutres ou panneaux			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
4 Batardeaux à poutres (général)	<p>Batardeau de maintenance Batardeau de secours (étudié mais jamais testé) Généralement pour l'amont mais aussi pour l'aval</p> <p>Portée limitée par la dimension des poutres et la hauteur de retenue (pression). La dimension des poutres elles-mêmes étant limitée par la technique de mise en place (treuils, grues, ...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poutre en bois: portée max de 3 à 5m • Poutre en aluminium: portée max de 5 à 15m 	<p>Extrémité avec galets pour le batardage en eaux vives (étudié mais jamais testé) En principe pas de plongeur Théoriquement utilisable sur plusieurs sites la dimension et le poids des éléments limitent cette possibilité</p>	<p>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 ou en présence du courant) Difficulté d'accrochage/décrochage des poutres</p> <p>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/épuisement)</p>

	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
5	Batardeaux à panneaux	Panneaux raidis : 10 à 25m Éléments en tôles ondulées: 5 à 10m	Bonne étanchéité Fiable Grands éléments → temps de mise en œuvre diminué → meilleure étanchéité (moins de joints)	Poids augmenté Mise en place nécessite des moyens importants
6	Batardeaux à éléments modulaires	Gray: éléments modulaires de 3x5m et 1,5x5m et éléments plus petits (assemblés permet de batardeur des passes de 5 à 10m)	Application à différents types de passes (largeur et hauteur différentes, écluse ou barrage) L'investissement est amorti en cas d'utilisation sur plusieurs sites	Temps d'assemblage important (problème spécifique aux éléments modulaires)

Famille C : Batardeau plaque			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
7 Vanne levante et abaissante	Batardeau de maintenance Batardeau de secours Généralement pour l'amont En principe pas de limitation (portée de 20 à 100m, chute de 3 à 20m) En pratique portée de 15 à 40m.	Toujours disponible (batardeau pour un seul ouvrage) Fermeture possible en cas de coupure de réseau, ... Efficace comme batardeau de secours	Spécifique à un seul site voir à une seule passe → coût élevé Très coûteux (vanne, mécanisme et infrastructure, maintenance) Pas esthétique (pas adapté sauf si environnement industriel ou intégration avec un pont routier)

Famille D : Batardeaux à poutrelles ou planchettes avec poteaux intermédiaires			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
8 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 3 m) Solution de batardeau universelle pour l'aval Utilisation limitée par la mise en place des poteaux 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)
9 Ajout d'une membrane étanche		L'étanchéité est augmentée	Des plongeurs sont nécessaires pour le placement de celle-ci
10 Amélioration des joints (néoprène ou notes de musique)		Meilleure étanchéité	

	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
11	Ajout de barre de jonction entre les panneaux		Augmente le parallélisme et la verticalité des poteaux	Éléments supplémentaires
12	Ajout d'une béquille de soutien aux poteaux		Augmente la robustesse Augmente la résistance aux charges d'impact	→ Stockage plus important → Transport plus lourd → Installation plus longue
13	Poutrelles ou panneaux métalliques		Meilleur comportement dans le temps et meilleure résistance Éléments en aluminium sont plus légers	
14	Batardeaux à petits panneaux modulaires métalliques		Liberté d'application à plusieurs ouvrages	Augmente le temps de batardeage

Famille E : Batardeaux flottants				
	Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
15	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: <ul style="list-style-type: none"> • Attention au tirant d'air • Procédure de ballastage à suivre rigoureusement (danger de renversement)
16	Batardeau 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

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

Famille G : Batardeaux composés d'une structure à remplir d'eau ou d'agrégats			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
18 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
19 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

Famille H : Batardeaux composés d'une structure soutenant une membrane étanche			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
20 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

Famille I. Batardeaux composés d'une structure auto-étanche			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
21 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 Peut bouger sous des vents importants Sensible au vandalisme
23 Structures avec fixations permanentes		Faibles moyens d'installation	Sensible au vandalisme
24 Structures rigides		Grande résistance aux impacts et au vandalisme Durable Hauteur éventuellement modifiable par empilage d'éléments	Moyens importants pour l'installation Pas de réparation en service

Famille J. Batardeaux intégrés (escamotables)			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
25 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 à l'installation Logement dans le radier Maintenance difficile

Famille K. Batardeaux ventouse			
Type de batardeaux	Gamme d'utilisation	Avantages	Inconvénients
26 Batardeaux ventouse	Batardeau de maintenance Pour l'aval Utilisation locale (dans les coins)	Peu coûteux Uniquement pour les travaux ponctuels → ne nécessite pas le placement de tout un batardeau quand ce n'est pas nécessaire	Problème de stockage/entretien Uniquement pour les travaux ponctuels

Annexe :

Étude de faisabilité de la création d'un nouveau concept de batardeau membranaire

Rapport final (2005-2006)

Rapport issu de la collaboration entre VNF, le CETMEF et l'ANAST (Université de Liège)

Auteurs : Vincent Herbillon, Catherine Beaujean, Philippe Rigo (ANAST)

Modifié par : Stéphanie Poligot-Pitsch (CETMEF) et Laura Chapital (VNF)

Table des matières

1 PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE DE L'EXISTANT	132
1.1. Préambule	132
1.2. Objectif de l'étude	132
1.3. Solutions existantes	133
1.1.1. Les batardeaux gonflables à simple enveloppe	133
1.3.1.1. Le batardeau gonflable permanent (BGP) de Jollytech sas	133
1.3.1.2. Le batardeau gonflable semi permanent (BGSP) de Jollytech sas	134
1.1.2. Les batardeaux gonflables avec un système de jupe	135
1.3.1.3. Le batardeau gonflable temporaire (BGT) de Jollytech sas.....	135
1.3.1.4. Le batardeau gonflable modulaire (BGM) de Jollytech sas	136
1.1.3. Les batardeaux gonflables sans système de jupe.....	136
1.1.4. Les batardeaux voiles.....	137
1.3.1.5. Le batardeau voile (BV) de Jollytech sas.....	137
1.3.1.6. Le batardeau voile à élément flottant (BVEF) de Jollytech sas	137
1.1.5. Les batardeaux écrans	138
1.3.1.7. Le batardeau Portadam® (BP) de Portadam.inc	138
1.1.6. Évaluation des différentes solutions par rapport aux critères.....	139
Conclusions	141
2 DEUXIÈME PARTIE : PRÉ-ETUDE D'UN BATARDEAU MEMBRANAIRE ET RECHERCHE DE SOLUTIONS NOUVELLES	141
1.4. Introduction	141
1.5. Description des solutions envisagées	142
1.1.8. Détermination de la gamme d'utilisation.....	142
1.1.9. Caractéristiques générales	142
1.1.10. Première solution	146
1.5.1.1. Étanchéité.....	148
1.5.1.2. Boulons de maintien.....	148
1.5.1.3. Mise en oeuvre	149
1.5.1.4. Placement de la jupe.....	149
1.1.11. Deuxième solution	149
1.5.1.5. Mise en oeuvre.....	150
1.1.12. Troisième solution.....	150
1.5.1.6. Mise en oeuvre.....	151
1.1.13. Quatrième solution.....	151
1.5.1.7. Étanchéité.....	152
1.5.1.8. Mise en oeuvre.....	152
1.1.14. Alternative pour la mise en oeuvre.....	152
1.1.15. Tableau comparatif des solutions.....	156
1.5.1.9. Écueils de chaque solution.....	156
1.5.1.10. Réponse aux exigences principales.....	157
1.5.1.11. Conclusions.....	158
1.6. Matériaux utilisés	158
1.6.1.1. Fibres aramides.....	158
1.6.1.2. Géomembranes.....	158
1.6.1.3. Textiles techniques.....	159
1.7. Étude de faisabilité technique	159
1.8. Étude de coûts	160
1.9. Conclusions	160

1. PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE DE L'EXISTANT

1.1. Préambule

L'étude d'un nouveau type de batardeau s'intègre dans le projet « Innovation 2005 » mené par l'ANAST avec VNF, en collaboration avec le CETMEF. Cette étude consiste en une étude de faisabilité technico-économique de la création d'un batardeau membranaire. Un des besoins actuel concerne la maintenance des barrages et donc la possibilité de mettre en place des systèmes d'assèchement des zones concernées par ces réparations. Ces systèmes sont les batardeaux. Beaucoup existent sur le marché, les techniques sont nombreuses, de même que les matériaux utilisés. Cependant, le principal inconvénient présent dans la plupart des batardeaux actuels est leur poids qui les rend difficiles à mettre en place et le fait qu'ils sont encombrants.

Ce nouveau concept de batardeau devra répondre à un certain nombre d'exigences techniques afin de permettre une utilisation optimale. Les exigences principales sont les suivantes :

Il doit s'agir d'un batardeau uniquement de maintenance, ce qui implique une mise en œuvre sans courant trop important.

Le système devra assurer une bonne étanchéité mais pas absolue.

Le système devra être de taille variable, c'est-à-dire être adaptable aussi bien à des passes de largeurs sensiblement différentes qu'à des hauteurs de retenue également sensiblement différentes.

Le système doit assurer une manœuvrabilité aisée (montage/démontage).

Il doit être facilement transportable.

La maintenance de l'ensemble doit être aisée.

Le stockage doit être facile.

Le batardeau doit être amovible.

D'après la classification en familles présentée dans ce catalogue, il apparaît qu'aucun batardeau du type « mono-élément, non rigide, non flottant » (case « projet » dans ce schéma) n'existe encore.

1.2. Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est d'imaginer et d'évaluer la faisabilité, les avantages et les inconvénients d'un batardeau membranaire.

Tout d'abord, des solutions existantes et approchées sont recherchées, puis évaluées selon les critères établis ci-dessus.

Il existe sur le marché un grand nombre de produits portant différents noms et dont les utilisations sont parfois très variables, on parlera notamment de barrières anti-crue, de batardeaux, de barrières anti-inondation, c'est pourquoi, la première question est : *s'agit-il bien d'un batardeau selon notre propre définition ? C'est-à-dire, est-il amovible, étanche et permet-il une mise en œuvre compatible avec des ouvrages tels que les barrages mobiles de VNF ?*

En cas de réponse positives, l'évaluation se poursuit en examinant cinq grands aspects :

Les aspects opérationnels :

La rapidité d'installation

La méthode d'installation

Les possibilités d'installation incorrecte

Le stockage et le transport

L'adaptabilité aux conditions du terrain

L'adaptabilité au génie civil existant

L'adaptabilité à plusieurs types de passes et de barrages

La sensibilité au vandalisme
La position par rapport au génie civil existant
Les méthodes de maintenance opérationnelle
Les aspects structurels :
Le mode de ruine
La hauteur d'eau maximum caractéristique
La possibilité d'augmentation de la hauteur en service
La résistance aux dommages et réparation de ces dommages
Les dimensions disponibles :
La longueur maximum et minimum
Le nombre maximum d'éléments
La hauteur disponible
Les angles possibles horizontalement
Le nombre de joints verticaux par unité de largeur
Le nombre de joints horizontaux par unité de hauteur
L'épaisseur de la structure en base
Les aspects financiers :
Les coûts de fabrication
Les coûts d'installation
Les coûts de maintenance
Les coûts additionnels
Les autres aspects :
Insertion paysagère
L'environnement

1.3. Solutions existantes

Dans un premier temps, nous avons réalisé des recherches, les plus exhaustives possible, sur l'ensemble des solutions proposées à l'aide d'une membrane et déjà présentes sur le marché. Environ une dizaine de solutions existantes ont été trouvées ; elles sont essentiellement fabriquées et fournies par quatre sociétés qui sont : Jollytech sas¹, Geotechnics Holland BV., BMT fleet technology limited (Canada) et Portadam.inc². Ces produits ont été choisis car tous présentent la caractéristique d'être fabriqués à partir d'une membrane ou d'une toile qui occupe un rôle important. Certains, comme nous le verrons, ne sont pas à proprement parler des batardeaux mais ont été conservés car elles peuvent constituer des pistes pour la création d'un nouveau type de batardeau.

Malheureusement, comme nous le verrons, aucune de ces solutions ne satisfait entièrement aux besoins de VNF.

Nous allons à présent présenter ces différentes solutions et ensuite les évaluer par rapport aux critères et aspects définis ci-dessus.

1.1.1. Les batardeaux gonflables à simple enveloppe

1.3.1.1. Le batardeau gonflable permanent (BGP) de Jollytech sas

Ressemblant à un barrage gonflable, ce type de système permanent est gonflé à l'eau ; l'élément tubulaire membranaire est déroulé sur sa largeur et est donc adaptable à toute largeur de passe. La structure est soutenue à l'aide d'ancrages et de tirants. L'enveloppe complètement dégonflée peut rester pliée dans le lit de la rivière sans créer la moindre obstruction à l'écoulement d'eau. Une fois gonflée à l'eau, l'enveloppe ainsi créée constitue

¹ www.jollytech.it

² www.portadam.com

un barrage/batardeau permanent effaçable mais non amovible. La mise en place du batardeau s'effectue par l'utilisation d'une pompe qui permet de gonfler et dégonfler l'enveloppe. Le type de matériaux utilisé est du PEHD (polyéthylène haute densité), recouvert sur une épaisseur supplémentaire de 3 à 15 mm d'une toile tissée et étanche, destinée à protéger la membrane en PEHD.

Les dimensions maximales de ce type de batardeau sont :

Approximativement 5 à 6 mètres de haut, la limite étant imposée par la résistance disponible du caoutchouc constituant le batardeau.

Approximativement 100 mètres de long, la limite étant imposée par la facilité de transport du produit sur site, la stabilité au renversement du batardeau et à d'autres limitations physiques et mécaniques.

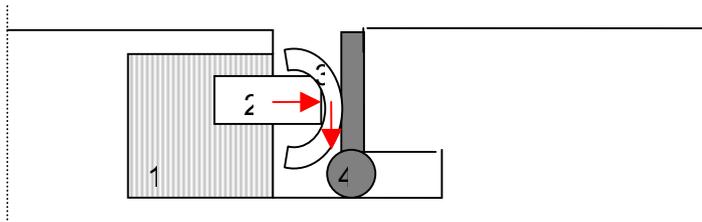


Figure 1 : Batardeau gonflable permanent³

1.3.1.2. Le batardeau gonflable semi permanent (BGSP) de Jollytech sas

Le batardeau semi permanent utilise exactement la même technique que le batardeau permanent à l'exception du type d'ancrage amovible qui permet de désolidariser le batardeau de la fondation du radier ; ce type d'ancrage est appelé « *ancrage sans vis* ».

³ www.jollytech.it



Avantages de ce système :
 pas de problème de mise en place sous eau,
 est amovible,
 pas d'ancrage à boulons → pas de percement de la membrane
 → pas de risque de déchirure.

1. Pièce de béton
2. Plaque d'acier, ancrée dans le bloc de béton et qui empêche les mouvements latéraux du système
3. Plaque d'acier qui empêche les mouvements verticaux du système (peut s'enlever via appui sur la membrane et permet ainsi au batardeau d'être amovible)
4. Membrane et son extrémité enroulée

Le type de matériau utilisé est également du PEHD. Pour 2006, Jollytech nous a fournis le tableau de prix suivant :

PRIX PAR METRE		H EN CENTIMETRES			
		50	100	150	200
(HARD TOP)		50	100	150	200
LONGUEUR EN M	50	2300	3300	4300	5600
LONGUEUR EN M	20	3000	4000	5000	6400

L'épaisseur du barrage non gonflé est comprise entre 3 et 5 cm. Avec un volet de protection (hard top) par-dessus, il faut compter entre 5 et 25 cm supplémentaires.

Ce barrage gonflable semi-permanent présente toutefois trois inconvénients majeurs :

Il ne peut être utilisé que pour du neuf, on ne peut l'utiliser avec un radier déjà existant sans devoir effectuer des travaux considérables.

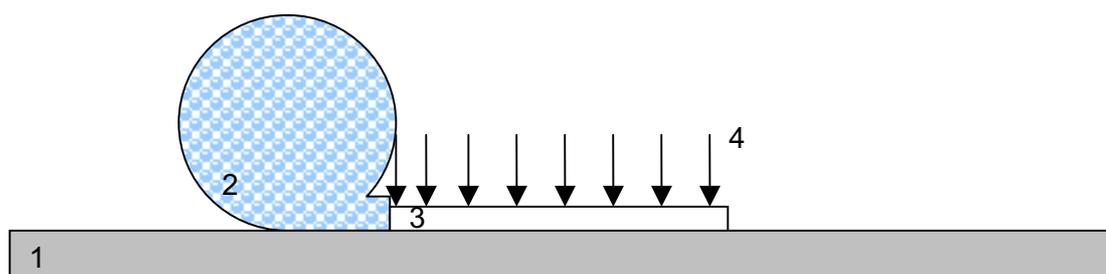
La mise en place d'un tel type de batardeau nécessite l'emploi de plongeurs.

Il peut être de différentes tailles mais un batardeau conçu pour une passe donnée ne peut être employé sur une passe de taille différente.

1.1.2. Les batardeaux gonflables avec un système de jupe

1.3.1.3. Le batardeau gonflable temporaire (BGT) de Jollytech sas

Ce type de batardeau gonflable est un batardeau temporaire. Il s'agit d'un batardeau déroulant qui peut s'adapter à toutes les largeurs de passes ou de rivières. La différence entre ce batardeau et le batardeau gonflable semi permanent est l'absence totale d'ancrage. Ce type de batardeau est tout d'abord gonflé à l'air pour être facilement transportable, puis ensuite gonflé à l'eau, évacuant de la même manière l'air qui avait été insufflé préalablement pour être stabilisé dans le lit de la rivière. L'eau utilisée pour le gonflage peut être prélevée dans le terrain même d'installation du batardeau. La pression de l'eau ainsi insufflée permet de contrecarrer toute apparition de trous et empêche dès lors le dégonflage du batardeau. Le batardeau est muni d'un pan de membrane à l'arrière de celui-ci. Ce pan est appelé « une jupe ». Cette jupe, grâce à la pression de l'eau, permet de maintenir le batardeau au fond tout en conservant une fonctionnalité parfaitement amovible. Ce batardeau ne peut être utilisé que pour des hauteurs d'eau inférieures à 2 m.



- 1 - Le radier
- 2 - Le ballon gonflé à l'eau ou à l'air
- 3 - La jupe
- 4 - La pression d'eau maintenant le coussin au fond en exerçant une pression sur la jupe

Figure 2 Système de jupe pour maintenir le batardeau en place sur la fondation

1.3.1.4. Le batardeau gonflable modulaire (BGM) de Jollytech sas

Il s'agit de batardeaux modulaires d'une largeur de 5 m pour chaque module qui peuvent être ainsi alignés sur toute la largeur de la rivière ou de la passe à isoler et ce système de modules peut s'adapter à la taille des passes ou à la largeur de rivière.

Ce type de batardeau est amovible. Les modules sont tout d'abord gonflés à l'air pour être facilement transportables, puis sont gonflés à l'eau, pour être stabilisés dans le lit de la rivière. Le principe est le même que celui prévu pour le batardeau gonflable, mais appliqué à des modules de plus petites tailles. La hauteur de retenue est inférieure à 2 m. Les batardeaux sont maintenus au fond de la fondation par le même principe de jupe qui, grâce aux pressions d'eau, joue le rôle de maintien du batardeau.



Figure 3 Batardeaux gonflables modulaires⁴

1.1.3. Les batardeaux gonflables sans système de jupe

D'autres produits semblables à ceux rencontrés dans le paragraphe précédent existent également mais sont manufacturés et fournis par d'autres sociétés (voir chapitre III – partie 7, famille F).

⁴ www.jollytech.it

1.1.4. Les batardeaux voile

1.3.1.5. Le batardeau voile (BV) de Jollytech sas

Ce type de batardeau est réalisé en PEHD. La structure du batardeau est constituée d'un simple voile, manœuvré par des câbles et des chaînes. Avec ce système, il est possible d'atteindre des hauteurs de retenue maximales de 3,5 m. Le type d'ancrages utilisé est un ancrage à vis et à boulons, ce qui rend le batardeau permanent.

Le principe de fonctionnement est particulièrement simple : un voile de tissu caoutchouté est immergé sur le fond et les bords du cours d'eau. Il est soutenu par deux câbles d'acier reliés à deux vérins hydrauliques positionnés sur une poutre placée au dessus du batardeau. L'abaissement du voile, notamment en cas de crue, se fait automatiquement par l'intermédiaire d'un flotteur qui, quand le niveau amont atteint une hauteur prédéterminée, fait diminuer la pression du circuit de commande des vérins, provoquant ainsi l'abaissement progressif du batardeau sur le fond du canal.



Figure 4 : Batardeau voile en service et mise en place¹

Ce type de batardeau est assez sensible au vandalisme. Outre le fait de pouvoir être affecté par des balles d'armes à feu, ce système a un point faible au niveau des attaches de câbles qui sont accessibles à une personne malveillante puisque accrochées à la passerelle.

1.3.1.6. Le batardeau voile à élément flottant (BVEF) de Jollytech sas

Un autre type de batardeau voile a également été réalisé. Il s'agit d'un batardeau voile dont la membrane en PEHD est retenue, non plus par des tirants fixés à une passerelle, mais par un élément flottant. Ce type de batardeau s'avère être extrêmement léger, aisé à mettre en œuvre et particulièrement utile comme protection contre les alluvions et les polluants. Il peut être utilisé pour une passe de dix mètres au maximum.

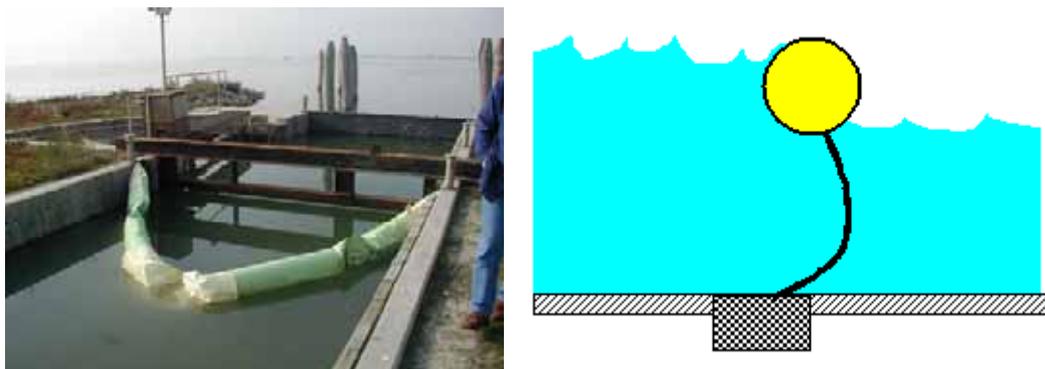


Figure 5 Batardeau voile à élément flottant⁵

1.1.5. Les batardeaux écran

1.3.1.7. Le batardeau Portadam® (BP) de Portadam.inc

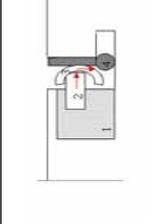
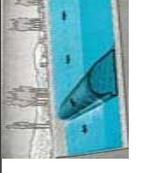
Le système de batardeau Portadam est un batardeau temporaire et amovible utilisé pour des niveaux d'eau allant jusqu'à 3,6 m de profondeur (voir Chapitre III partie 9, famille H).

Cependant, le fabricant stipule clairement que le système doit être préalablement étudié et conçu spécifiquement pour chaque projet de barrage, et qu'il n'est disponible qu'à la location.

⁵ www.jollytech.it

1.1.6. Évaluation des différentes solutions par rapport aux critères

Pour commencer, nous avons dressé un tableau reprenant les huit exigences principales édictées dans le cadre de cette recherche d'un nouveau type de batardeau.

	BGP	BGSP	BV	BVEF	BGT	BGM	BP
	Gonflable permanent	Gonflable semi-permanent	Voile	Voile à élément flottant	Gonflable temporaire	Gonflable modulaire	Portadam
							
Exigences principales							
batardeau de maintenance	Non (permanent)	oui	oui	oui	oui	oui mais 1m d'eau maxi	oui
étanchéité suffisante	oui	oui	oui	oui	non pour des hauteurs d'eau > 2 m	non pour des hauteurs d'eau > 1 m	oui
système adaptable à plusieurs passes	non	non	oui	oui mais pour des passes de 10 m maximum	oui	oui mais mauvaise étanchéité si on assemble divers modules	non car nécessite une étude précise pour chaque barrage
manœuvrabilité aisée	Nécessite pas mal de main d'œuvre pour la mise en place	Nécessite beaucoup de main d'œuvre pour la mise en place	non (câbles, tirants, vérins...)	oui	oui	oui	Nécessite pas mal de main d'œuvre pour la mise en place

Catalogue des batardeaux

Annexe : étude de faisabilité d'un batardeau membranaire

facilement transportable	Membrane enroulée facilité transport	<input type="checkbox"/> de facilité transport	Membrane enroulée facilité transport	<input type="checkbox"/> de facilité transport	Pas de condition de transport particulière	de de de	Transport par grue ou à main nue par plusieurs ouvriers	Transportable à mains nues	Transport par grue
maintenance aisée	oui		oui		Non (éléments sous eau)	Non (câbles)	oui	oui	oui
facilité stockage	Membrane enroulée facilité stockage intérieur extérieur	<input type="checkbox"/> de en ou	Membrane enroulée facilité stockage intérieur extérieur	<input type="checkbox"/> de en ou	Pas de condition de stockage particulière	de de de	Peut être stocké à l'extérieur	Stockable en extérieur	Pas de condition de stockage particulière
système amovible	non (fixé au radier)	oui au	oui (ancrage sans vis)	non (ancrage permanente)	non		oui	oui	oui

Légende :

BGP : batardeau gonflable permanent
 BGSP : batardeau gonflable semi permanent
 BV : batardeau voile
 BVF : batardeau voile à élément flottant

BGT : batardeau gonflable temporaire
 BGM : batardeau gonflable modulaire
 BP : batardeau Portadam

1.1.7. Conclusions

En relation avec l'analyse de l'existant qui a été effectuée, nous constatons qu'une solution répond partiellement aux exigences qui ont été posées au début du rapport et qui sont, pour rappel :

* les quatre critères de bases : amovible, étanche, de taille variable et une mise en œuvre compatible avec des ouvrages tels que des barrages.

* Les aspects d'évaluation opérationnels, structurels, dimensionnels, financiers et autres.

Comme le montre le tableau des deux pages précédentes, le batardeau gonflable semi permanent de la firme Jollytech répond à la plupart des exigences principales qui avaient été édictées en concertation avec VNF et le CETMEF.

Cependant, cette solution n'est pas idéale car elle nécessite des travaux importants dans le radier pour installer le système de fixation. Elle ne répond pas non plus à certains besoins de VNF car un batardeau conçu pour une passe d'une taille spécifique ne pourra être utilisé sur une passe de dimension supérieure.

Nous constatons donc qu'il existe bel et bien un besoin pour un nouveau type de batardeau et c'est dans ce cadre-là qu'une étude sur la conception d'un batardeau membranaire a été menée.

2 DEUXIÈME PARTIE : PRÉ-ETUDE D'UN BATARDEAU MEMBRANAIRE ET RECHERCHE DE SOLUTIONS NOUVELLES

1.4. Introduction

L'étude d'un nouveau type de batardeau s'intègre dans le projet « Innovation 2005 » mené par l'ANAST avec VNF, en collaboration avec le CETMEF. Cette recherche consiste en une étude de faisabilité de la création d'un batardeau membranaire d'un point de vue technique et d'un point de vue économique.

Ce batardeau serait réalisé, a priori, à partir d'une membrane PEHD ou EPDM fréquemment utilisée dans le cas des barrages gonflables ou alors à base de dérivés de textiles techniques.

Ce dernier devra répondre à un certain nombre d'exigences techniques afin de permettre une utilisation optimale. Les exigences principales sont les suivantes :

Il doit s'agir d'un batardeau uniquement de maintenance, ce qui implique une mise en œuvre sans la présence d'un courant trop important.

Le système doit assurer une étanchéité suffisante mais pas absolue.

Le système doit être de taille variable, c'est-à-dire être adaptable aussi bien à des passes de largeurs sensiblement différentes qu'à des hauteurs de retenue également sensiblement différentes.

Le système doit assurer une manœuvrabilité aisée (montage/démontage).

Il doit être facilement transportable.

La maintenance de l'ensemble doit être aisée.

Le stockage doit être facile à mettre en œuvre.

Le batardeau doit être amovible.

De ce fait, les études effectuées concernent :

La recherche des types de matériaux adéquats (résistance, coût, vieillissement,..),

Une étude technologique de mise au point du système de fixation, d'ancrage et d'étanchéité,

Une évaluation économique du coût de réalisation d'un tel batardeau.

Dans un premier temps, nous allons nous attacher à décrire les différentes solutions envisagées. Nous allons les comparer entre elles et les confronter aux critères mentionnés ci-dessus afin de voir quel système semble le mieux adapté pour notre problème.

Pour celles qui nous sembleront les plus pertinentes, nous allons réaliser des calculs par la méthode des éléments finis afin d'écartier éventuellement certains types de matériaux ou certaines configurations.

1.5. Description des solutions envisagées

1.1.8. Détermination de la gamme d'utilisation

Afin de déterminer la gamme de hauteur d'eau et de largeur de passes dans laquelle le batardeau sera utilisable, nous nous sommes basés sur l'étude statistique qui fut réalisée récemment.

Nous avons choisi des passes caractérisées par une longueur minimale de 10 m et une hauteur variant entre 2,5 m et 3 m. Ces dimensions correspondent en effet aux largeurs et hauteurs de passes les plus fréquemment rencontrées et qui constituent des dimensions techniquement admissibles quant à la réalisation d'un batardeau de ce type.

1.1.9. Caractéristiques générales

Chaque solution envisagée se démarquera par certaines spécificités propres au niveau du système de fixation, de la manière d'assurer l'étanchéité etc.

Cependant, certaines caractéristiques sont communes à chacune des solutions.

a) La membrane mono-élément

Une membrane est un élément structural constitué d'une « toile » sollicitée à la traction. Dans un câble, la sollicitation est définie par l'effort mesuré en N et la contrainte σ du matériau est obtenue en divisant l'effort par la section. Dans une membrane, nous avons un effort n par unité de longueur avec les unités N/mm, alors que la contrainte dans le matériau correspond à l'effort n divisé par l'épaisseur de la membrane (N/mm²).

Le batardeau sera soumis à un certains nombre d'efforts dont il est important de calculer l'équilibre. La pression hydrostatique s'exercera sur la membrane. Le poids de l'eau agira sur la jupe et la plaquera au sol favorisant ainsi la stabilité du système (Voir figure 24).

La résultante du triangle des pressions vaut $Fw^h = 1/2 \gamma H^2 \cong 40 \text{ kN/m}$ pour des hauteurs d'eau avoisinant les 3 mètres.

La pression de l'eau agissant sur la jupe vaut $Fw^v = \gamma H \text{ (N/m}^2\text{)}$.

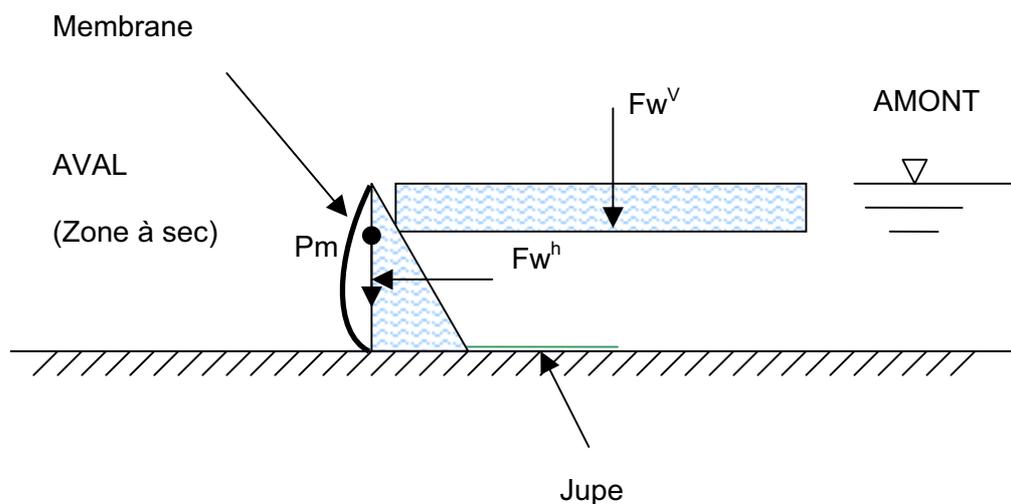
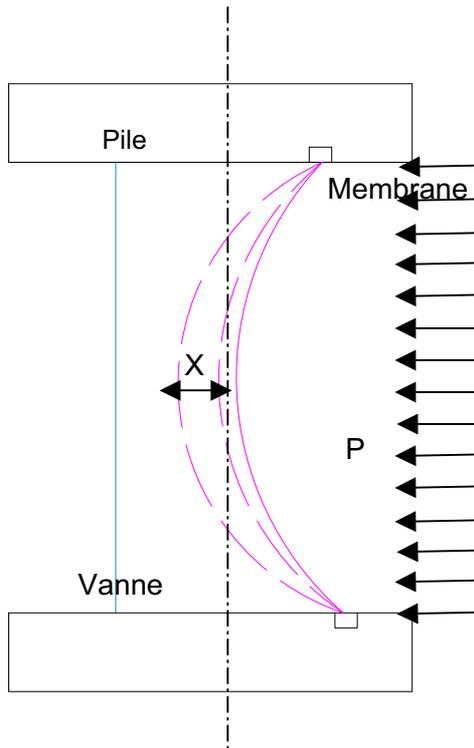


Figure 6 : Illustration des efforts agissant sur le batardeau (Vue de profil)



Selon la largeur de la passe considérée et la longueur développée de la membrane, celle-ci adoptera une courbure plus ou moins grande.

Il est important de garder une distance X suffisante entre le batardeau et la vanne afin d'octroyer toute la place nécessaire aux ouvriers pour réaliser leurs travaux de maintenance. Cette condition interviendra dans la détermination de la largeur minimale de passe à laquelle le batardeau d'une longueur donnée sera utilisable.

En plus de cette condition, il faudra considérer un profil de membrane qui permette de dérouler aisément la jupe en base du batardeau. Nous reviendrons sur ces aspects dans chacune des configurations étudiées.

La largeur maximale de passe sera quant à elle déterminée par la courbure minimale que devra épouser la membrane afin de conserver sa souplesse.

Figure 7 Profil de la membrane (Vue en plan)

L'épaisseur de la membrane est une des caractéristiques déterminée par un dimensionnement aux efforts. En effet, l'épaisseur sera proportionnelle aux efforts de traction que la membrane aura à subir. Au stade de cette étude, nous nous sommes basés sur les tables de dimensions fournies par les différents fabricants de barrages gonflables. À titre d'exemple, le tableau ci-dessous est fourni par la société Floecksmuehle⁶

Hauteur de retenue (m)	Epaisseur du matériau en EPDM (mm)
$H_0 < 1.0$	8.6 mm
$1.0 < H_0 < 2.2$	10.6 mm
$2.2 < H_0 < 2.9$	12.4 mm
$2.9 < H_0 < 3.5$	13.8 mm
$3.5 < H_0 < 4$	15.2 mm
$4 < H_0 < 6$	22.5 mm

Cette épaisseur peut être réduite via l'emploi de matériaux adéquats. Ainsi, dans le cas d'utilisation de caoutchouc avec du nylon ou des fibres para-aramides (voir § 6.1.1), les divers fournisseurs ont garanti que la résistance de la membrane peut être aisément accrue par une augmentation du nombre de couches de fibres dans le caoutchouc, ce qui n'affecte guère l'épaisseur. Une épaisseur de 1 à 2 cm pourrait suffire.

C'est pourquoi, dans le cadre de ce projet, il sera important, une fois qu'une solution technique valable et plusieurs variantes seront établies, de rencontrer plusieurs fournisseurs et fabricants de membranes ou textiles susceptibles de répondre aux exigences techniques

⁶ Cette société allemande est partenaire de Bridgestone. Elle propose un tableau donnant l'épaisseur de la membrane en fonction de la hauteur de retenue.

requis par le type de batardeau mis en place. Des recherches ont déjà été effectuées et plusieurs fournisseurs ont été retenus et contactés :

- **TEXLINE**⁷. Cette société fait partie du groupe chinois *Chevalier Pipe Technologies*. Ils créent du textile tissé qui peut être recouvert d'un côté par une membrane afin d'assurer l'étanchéité. À l'heure actuelle, ils réalisent des tubes creux flexibles pour transporter de l'eau. Leur matériau pourrait être utilisé pour réaliser la membrane et la jupe.

- Il existe par ailleurs un groupement européen des textiles techniques à usage dans le génie civil reprenant les sociétés actives dans le domaine⁸.

- Une firme italienne (LEPOL SRL à Mestre) a breveté un alliage de polymère plastifié, le Lepoflex D 206, offrant des membranes à hautes caractéristiques mécaniques. Ce projet semble fort intéressant mais n'en est qu'à ses balbutiements. Dès lors, son utilisation dans le cadre de cette convention semble assez difficile.

- **POLYFLEX MEMBRANE**⁹ fabrique des membranes à partir de différentes combinaisons de caoutchouc afin d'obtenir d'excellentes caractéristiques mécaniques et d'étanchéité. Pour le moment, ils ne peuvent pas aller au-delà d'une épaisseur de 4/5 mm et ne sont pas équipés pour rajouter des fibres intermédiaires pour renforcer la membrane. Cette possibilité est donc à écarter.

- **NANOSONIC** : Cette société développe un nouveau type de caoutchouc avec de hautes propriétés mécaniques. Ce matériau conduit l'électricité comme un métal, s'étire comme du caoutchouc mais pèse beaucoup moins que l'acier. Cette firme américaine utilise une méthode électrostatique d'auto-assemblage moléculaire permettant d'obtenir des films minces. Dans le futur, ils pourront obtenir des pièces plus massives. La création d'une membrane aux dimensions souhaitées est possible mais ils ne sont pas certains de pouvoir garantir une résistance et une étanchéité suffisantes, leur produit n'étant pas fait à la base pour retenir de l'eau. Bien que totalement innovante, cette solution ne paraît pas à même de pouvoir répondre à nos besoins dans l'immédiat.

- **BRIDGESTONE** fabrique déjà des enveloppes pour les barrages gonflables à base de caoutchouc entourant des fibres de polyester et d'aramides. La réalisation d'un batardeau membranaire à partir d'un matériau de ce type semble tout à fait réalisable pour le responsable de l'usine anglaise. Mais il faudrait leur fournir une étude poussée pour voir si la maison mère au Japon accepterait de s'investir dans un tel projet.

- **DUPONT DE NEMOURS** produit du Kevlar®. Ce matériau, à base de fibres para-aramides est hyper résistant en traction. Il est souvent utilisé pour renforcer des matériaux tels que les pneus. Dès lors, l'emploi d'une membrane en caoutchouc/kevlar est envisageable. La société DuPont, de son côté, a bien précisé qu'elle ne fabrique que des fils de Kevlar et qu'elle n'a pas d'équipement pour faire des membranes en caoutchouc. Néanmoins, ils fournissent des brochures dans lesquelles ils édictent leurs recommandations quant à l'utilisation de leurs fils avec des élastomères, ainsi que les modes de préparation pour obtenir une adhésion optimale.

- La firme néerlandaise **TWARON** est l'autre grande société commercialisant des produits à base de fibres para-aramides. Ces dernières sont parfois aussi utilisées pour renforcer des élastomères. Ce type de matériau pourrait donc être employé pour fabriquer la membrane. Mais cette firme n'est pas en mesure de réaliser ce type de projets dans leurs ateliers ni dans leurs filiales japonaises.

- **SUMIGATE** : Sumigate est le nom d'un barrage gonflable à base de caoutchouc comparable aux barrages Bridgestone. Ce produit est issu de recherches sur le caoutchouc menées par la firme japonaise Sumitomo Electric dans les années 40. L'emploi de leur

⁷ Voir annexe 1 pour plus de détails

⁸ www.relais-textiles.com

⁹ www.polyflexmembrane.in

membrane comme batardeau est tout à fait possible d'après leur représentant commercial en Europe.

b) La jupe

La membrane se termine en partie basse par une jupe horizontale couchée sur le radier qui, à l'aide de la pression hydrostatique, permet d'assurer la non flottabilité du batardeau et d'aider à la stabilité du système.

La jupe déployée permet donc d'assurer le maintien du batardeau et l'étanchéité en base. La longueur de la jupe est déterminée par deux facteurs : la hauteur de retenue à assurer et la longueur minimale admissible de jupe afin d'assurer le maintien du batardeau. La jupe ne reprend aucun effort de traction, elle n'agit que comme surface stabilisatrice, c'est pourquoi nous pouvons considérer que son épaisseur est moindre que celle de la membrane constituant le corps du batardeau. Une épaisseur de 4 à 5 mm doit donc suffire.

La jupe doit pouvoir être déployée lorsque la membrane est mise en place.

La membrane et la jupe ne peuvent pas être conçues d'un seul tenant étant donnée la forme que va adopter la membrane. En effet, la courbure de la membrane étant appelée à varier, il est clair que la jupe doit être fabriquée de manière spéciale pour lui permettre d'adopter une position toujours plane sur le sol une fois déployée.

Dès lors, elle pourrait être constituée de plusieurs éléments qui se recouvrent les uns les autres et qui sont reliés entre eux au moyen de chaînettes (un peu à la manière d'un store de fenêtre). L'ensemble de ces éléments seraient, de surcroît, maintenus sur le sol par une sorte de boudin de sable dont le poids a pour effet de stabiliser le tout sur le radier.

Dans le même ordre d'idées, deux matériaux sensiblement différents pourraient être utilisés pour la membrane et la jupe dans le cas d'utilisation de textile technique. Comme il a été précisé plus haut, ces deux parties remplissent chacune une fonction bien distincte. La jupe, tout en devant permettre d'assurer l'étanchéité, devra s'adapter au sol. C'est ainsi que l'emploi de matériau à base de textile permettrait assez aisément d'employer deux textiles différents (ou traités différemment) pour la jupe et la membrane. Celui pour la jupe pourrait prendre une forme plissée comme les jupes écossaises et être très souple (mais suffisamment résistant) afin de s'adapter parfaitement au sol sur lequel la jupe reposerait.

Jupe du batardeau composée d'éléments qui se superposent

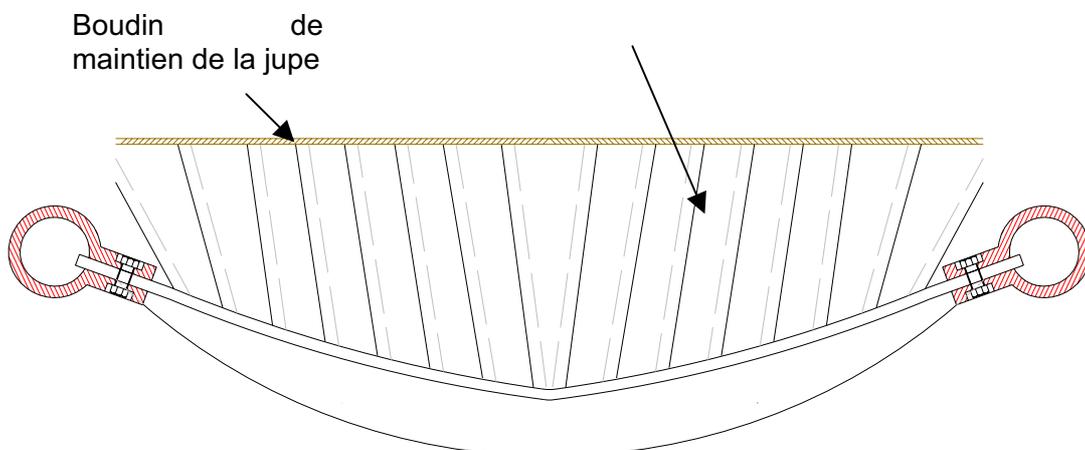


Figure 8 : Membrane et sa jupe (Vue en plan)

La jupe permet également un certain jeu quant à la largeur de passe à laquelle le batardeau est adaptable (besoin spécifique de VNF). Pour cela, il faudra calculer les courbures minimales et maximales au-delà desquelles on ne pourra pas aller et qui détermineront dès lors l'intervalle de largeur de passe dans lequel le batardeau est utilisable.

1.1.10. Première solution

Le principe est la mise en place d'une membrane au travers de rainures pratiquées dans les piles et les culées. Du point de vue de la membrane, celle-ci est fixée sur ses deux bords verticaux à des renforts métalliques.

Dans le cas où des rainures existent déjà sur le génie civil, un blindage métallique y est scellé (en vert sur la Figure 9) sur toute la hauteur de la rainure, ce qui permet de maintenir la membrane. Cette partie métallique possède des formes arrondies aux endroits qui vont entrer en contact avec la pince métallique (en rouge sur la Figure 9) de la membrane. Cela a pour effet de minimiser les efforts de frottement et d'éviter ainsi des effets d'abrasion trop importants.

La pince métallique, terminée par une partie arrondie (en rouge sur la Figure 9), entre en contact avec la rainure et permet ainsi d'assurer l'étanchéité latérale et de reprendre les efforts de traction, ce qui évite le déchirement de la membrane au niveau des appuis sur les piles, à l'endroit où les efforts sont maximaux.

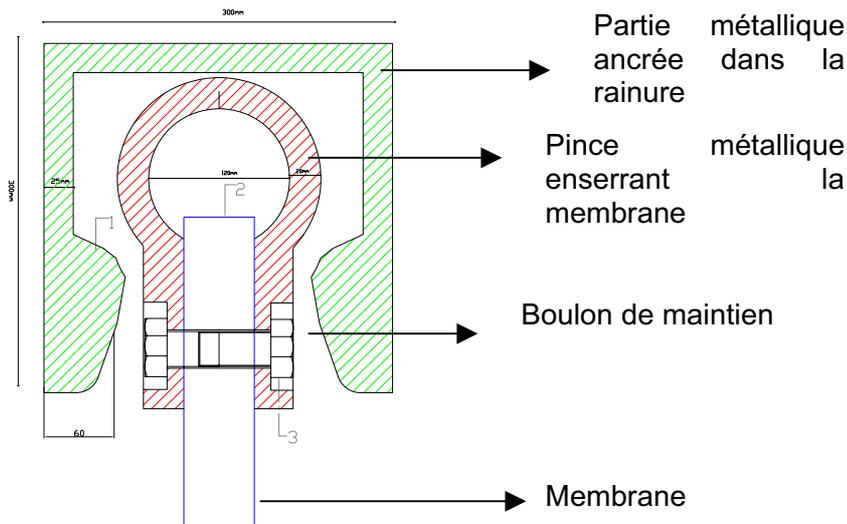


Figure 9 : Coupe transversale

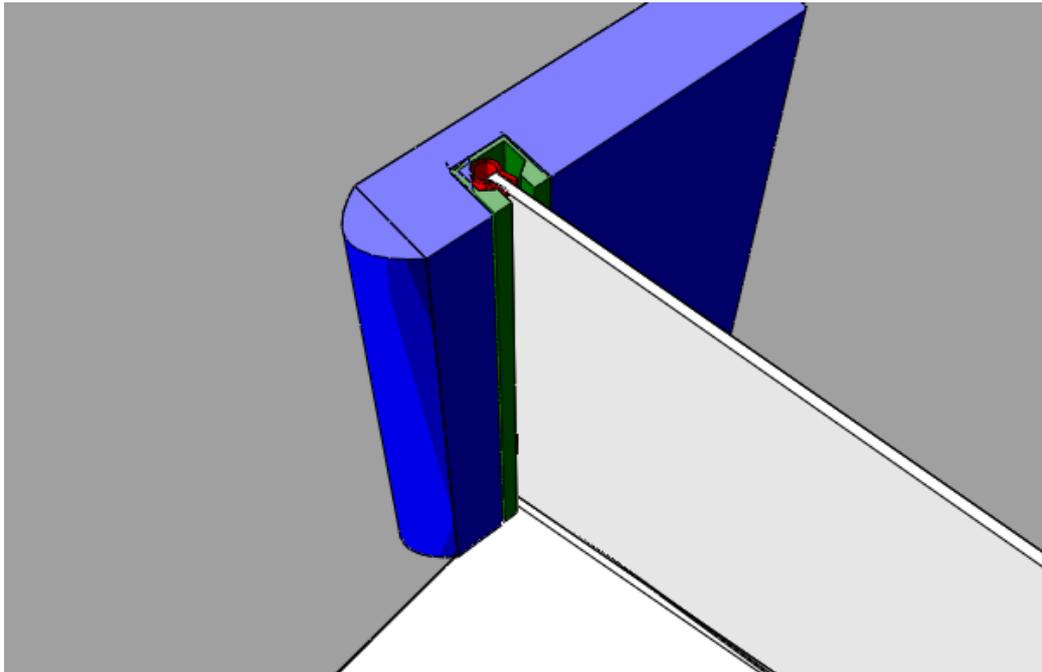


Figure 10 : Vue 3D du système

À la partie supérieure de la membrane, nous avons placé une partie plus épaisse, agissant en traction, que nous appellerons un câble (voir Figure 11). Ce câble peut être en matériau composite ou en acier. Dans ce cas, la membrane se comporte comme une multitude de bandes verticales reprenant chacune une partie de l'effort. La membrane va alors travailler « verticalement » plutôt qu'horizontalement. Le fonctionnement mécanique est plus avantageux.

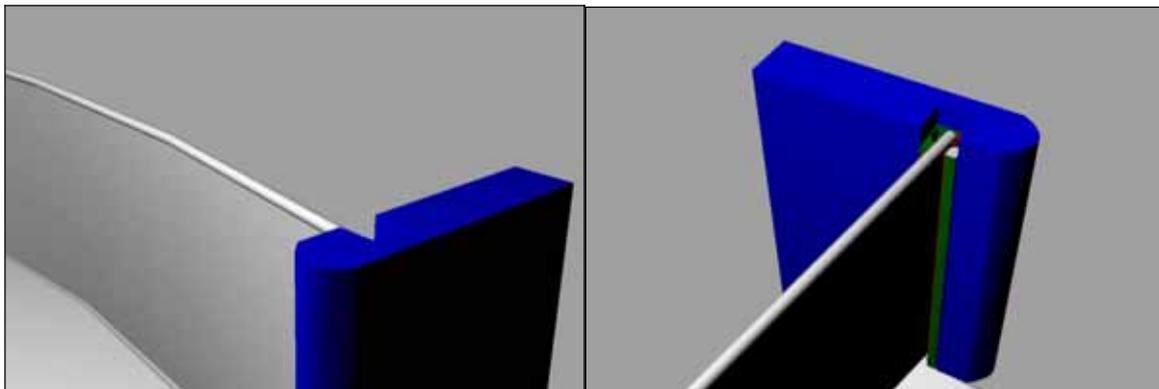
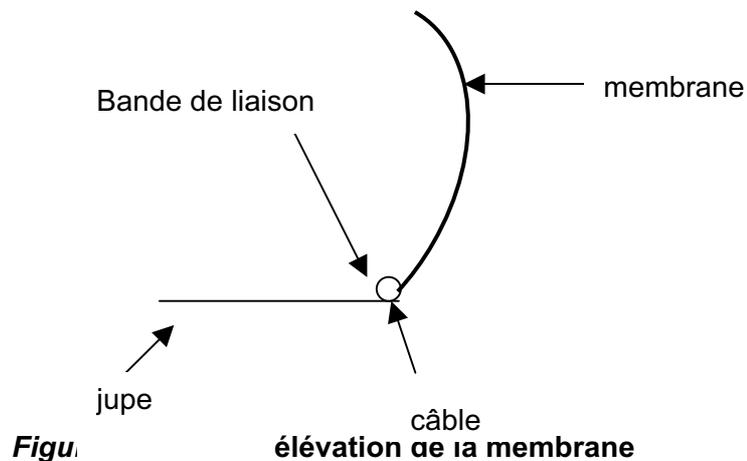


Figure 11 : Vue du système avec un câble sur la partie supérieure

Un second câble se trouve en base à « l'intersection » entre la membrane et la jupe. Pour assurer l'étanchéité, on se propose d'utiliser une bande étanche reliant la jupe à la membrane, ce qui empêchera l'eau de s'infiltrer par le bas de la membrane (figure 32).



En cas d'absence de rainures, on doit soit en créer, soit réaliser des rainures artificielles en porte-à-faux, par exemple par des profilés IPE ou UAP ancrés dans la pile.

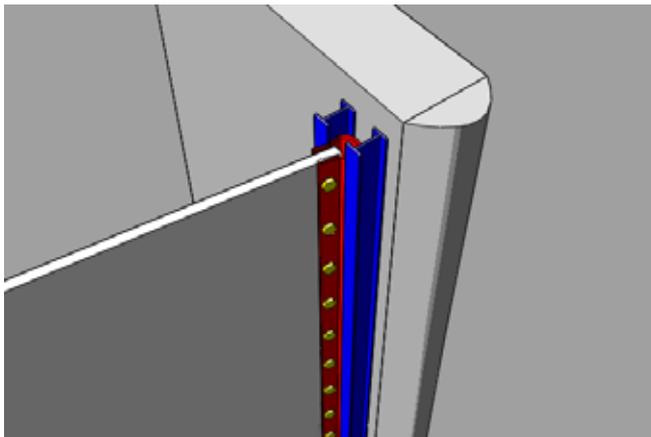


Figure 13 : Partie tubulaire métallique dans sa rainure artificielle

1.5.1.1. Étanchéité

L'étanchéité est assurée sur toute la hauteur de la membrane (des deux côtés) grâce aux pinces latérales de la membrane. La pince métallique entourant les bords de la membrane va, sous l'effet de la pression, se coller aux rainures (ou profilés). Ces profilés ne se terminent pas exactement au niveau du radier et laissent ainsi un espace à la jupe pour prendre son pli et assurer à l'aide de la pression de l'eau l'étanchéité nécessaire en base. L'étanchéité en base est assurée grâce au câble et à la jupe (lestée).

1.5.1.2. Boulons de maintien

Les boulons de maintien doivent être étudiés, afin d'assurer une parfaite tenue de la membrane tout en ne provoquant pas de poinçonnement trop important pouvant entraîner une déchirure. Les boulons en contact direct avec la membrane doivent s'appuyer sur des plats afin de répartir l'effort et d'éviter toute déchirure de la membrane.

1.5.1.3. Mise en oeuvre

La mise en place du batardeau sera une phase importante et délicate. En effet, le principe du système est de permettre une mise en œuvre aisée, n'exigeant pas d'avoir recours à des moyens logistiques trop évolués et coûteux. De plus, de cette mise en place, dépendra la bonne étanchéité du système.

Le batardeau doit venir se glisser dans les profilés ou dans les rainures. Il faut donc l'amener par le haut pour en faire descendre les deux extrémités en métal dans l'emplacement prévu à cet effet.

Le poids de la membrane et des systèmes de maintien en acier du batardeau envisagé sera de l'ordre d'environ 1 à 2 tonnes¹⁰ ce qui nécessite une grue et donc d'un chemin d'accès pour celle-ci.

1.5.1.4. Placement de la jupe

Afin d'éviter l'emploi de plongeurs, la jupe est « plaquée » contre la membrane voire enroulée (suivant le matériau utilisé) durant le transport. Depuis un bateau de type zodiac, deux hommes tiennent des « perches » qui, elles-mêmes sont reliées aux deux extrémités de la jupe. La jupe est lestée si le matériau dont elle est faite a une trop faible densité. Une fois mise en place, des lests, comme des sacs de sable, peuvent être mis à son extrémité pour assurer complètement son maintien sur le sol (même si le poids de l'eau devrait suffire pour cela) et aider à assurer l'étanchéité.

1.1.11. Deuxième solution

Cette solution est relative à un système visant à minimiser les travaux de génie civil complémentaires nécessaires pour installer ce dispositif.

La membrane est appliquée sur le devant des piles. Les deux extrémités verticales sont fixées au radier et piles voisines, via des câbles. La pression de l'eau vient appliquer la membrane sur les bouts arrondis des deux piles (Figure 14).

Comme dans le cas de la première solution, les extrémités latérales de la membrane peuvent être enserrées dans une pince métallique, permettant de reprendre l'effort de traction et d'y fixer les câbles la reliant au radier.

De plus, la membrane est reliée à un câble tant à sa partie basse qu'à sa partie haute (en plus de la pince sur les côtés latéraux).

Pour fixer la membrane aux piles ou au radier, il faut au minimum un câble pour relier à la partie supérieure de la membrane et un pour relier à la partie inférieure. Mais en ajouter l'un ou l'autre à des positions intermédiaires sur la hauteur est conseillé pour assurer la résistance de la membrane.

Avec une telle solution, nous pourrions employer la membrane pour batardeau des passes de largeurs fortement variables. En effet, la partie excédentaire peut être mise le long de la pile ou sur le côté.

¹⁰ Sauf si emploi de fibres textiles enduites, auquel cas, c'est bien plus léger.

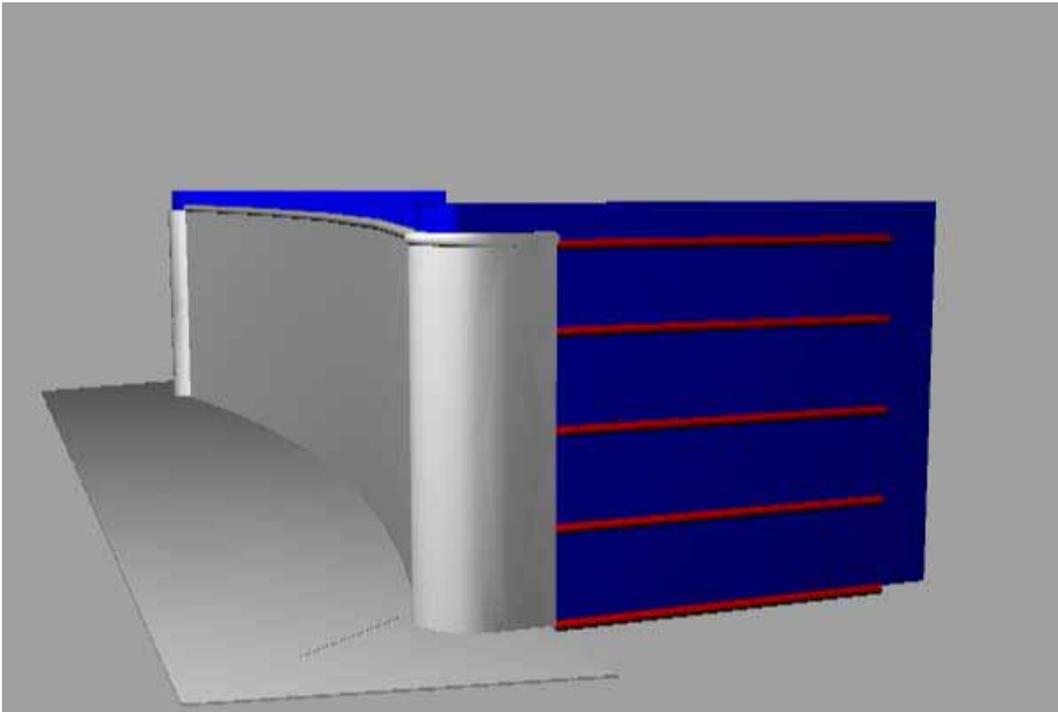


Figure 14 : Deuxième solution

Ce système, assez simple à mettre en œuvre de prime abord, pose cependant problème :

Ainsi, on ne peut pas batardeau simultanément deux passes situées l'une à côté de l'autre avec un tel système car les membranes devraient se superposer, ce qui empêcherait de les fixer correctement au droit de la pile intermédiaire et donc d'avoir l'étanchéité recherchée ; Le batardeau d'une passe côté culée est impossible sans adaptation ;

Dès lors, dans l'état actuel des choses, cette solution ne semble pas être la plus optimale dans l'optique d'une généralisation du batardeau membranaire. Par contre, elle est très bonne si on veut batardeau les passes situées entre deux piles.

1.5.1.5. Mise en oeuvre

Dans le cas présent, il n'y a nul besoin d'amener le batardeau par le haut pour le faire entrer dans des rainures comme pour la première solution. Cependant, sa mise en place requiert du personnel car il faut maintenir la membrane en position verticale pendant qu'on la fixe via ses extrémités ! Vu le poids du système, l'emploi d'engins de génie civil semble encore nécessaire surtout si les plongeurs sont interdits.

La solution alternative consistant à amener la membrane par flottaison (voir § 5.8) permettrait d'amener facilement la membrane sur place devant les deux piles puis de dégonfler certains flotteurs pour faire descendre la jupe et amener la membrane en position verticale, qu'elle garderait vu la présence de flotteurs à la partie supérieure. L'opération d'ancrage dans les piles/culées et le radier en serait alors facilitée.

1.1.12. Troisième solution

Cette solution consiste à fixer un élément amovible sur toute la hauteur de chaque pile et culée, assurant l'étanchéité derrière la membrane fixée par crochets sur les piles/culées (voir Figure 15)

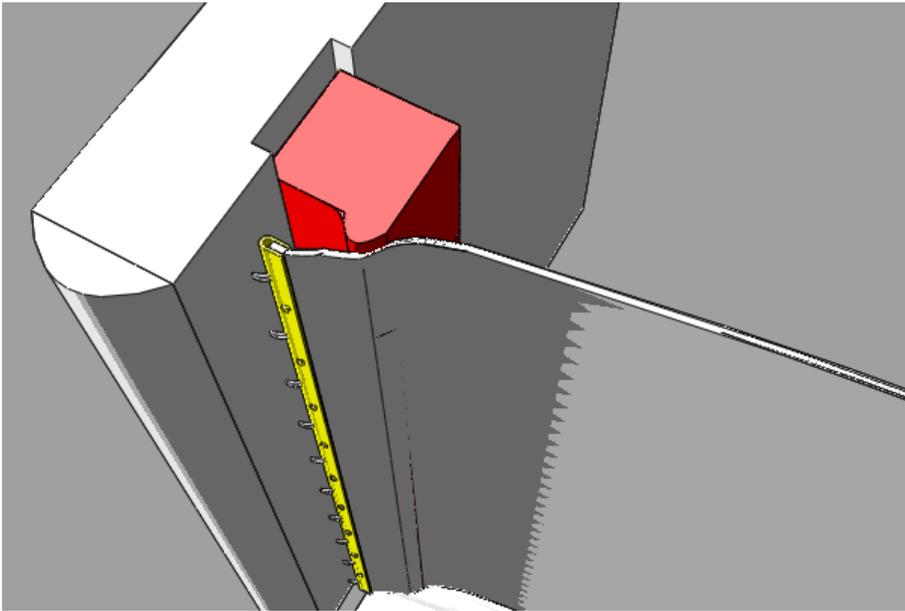


Figure 15 : Élément amovible (en rouge) aidant à assurer l'étanchéité

L'emploi d'éléments amovibles recèle plusieurs avantages :

Une fois la maintenance terminée, la passe retrouvera sa largeur initiale et il n'y aura donc pas de réduction de largeur de passe permanente comme avec la solution envisagée avec des profils en I (solution 1).

On peut utiliser ces éléments amovibles sur des barrages différents, obtenant ainsi une réduction de coût d'investissement.

On peut envisager des éléments amovibles de différentes tailles suivant la largeur de la passe pour pouvoir toujours utiliser une membrane de même longueur (il s'agira d'étudier aussi la variation de longueur de la membrane permise par sa flexibilité).

Concernant la fixation de la membrane, des crochets sont ancrés dans les piles sur toute la hauteur de la membrane. Aux extrémités de celle-ci sont disposées des attaches venant se fixer aux crochets. La taille de ces éléments peut éventuellement fluctuer suivant les largeurs des passes.

Une même membrane peut être utilisée sur des passes de tailles différentes grâce à sa propre flexibilité et à une modification de sa courbure. De même, l'emploi d'éléments amovibles de tailles variables et un positionnement judicieux des attaches dans les piles et culées permettent l'utilisation d'une membrane donnée sur différentes largeurs de passe.

1.5.1.6. Mise en oeuvre

La mise en place requiert du personnel car il faut maintenir la membrane en position verticale pendant qu'on l'accroche aux piles et/ou aux culées. L'emploi d'engins de génie civil semble donc être nécessaire, ainsi que des plongeurs pour fixer la membrane sur toute la hauteur de la pile.

1.1.13. Quatrième solution

Deux poteaux sont attachés sur les côtés verticaux de la membrane et prennent appui le long des piles ou des culées. Ils sont inclinés comme on peut le voir à la figure 60 et viennent prendre appui sur les piles ou culées. On peut envisager de placer le bas de ces poteaux dans une réservation dans le radier afin de garantir la stabilité de l'ensemble (Figure 16). La membrane est également attachée à des câbles aux parties supérieures et inférieures.

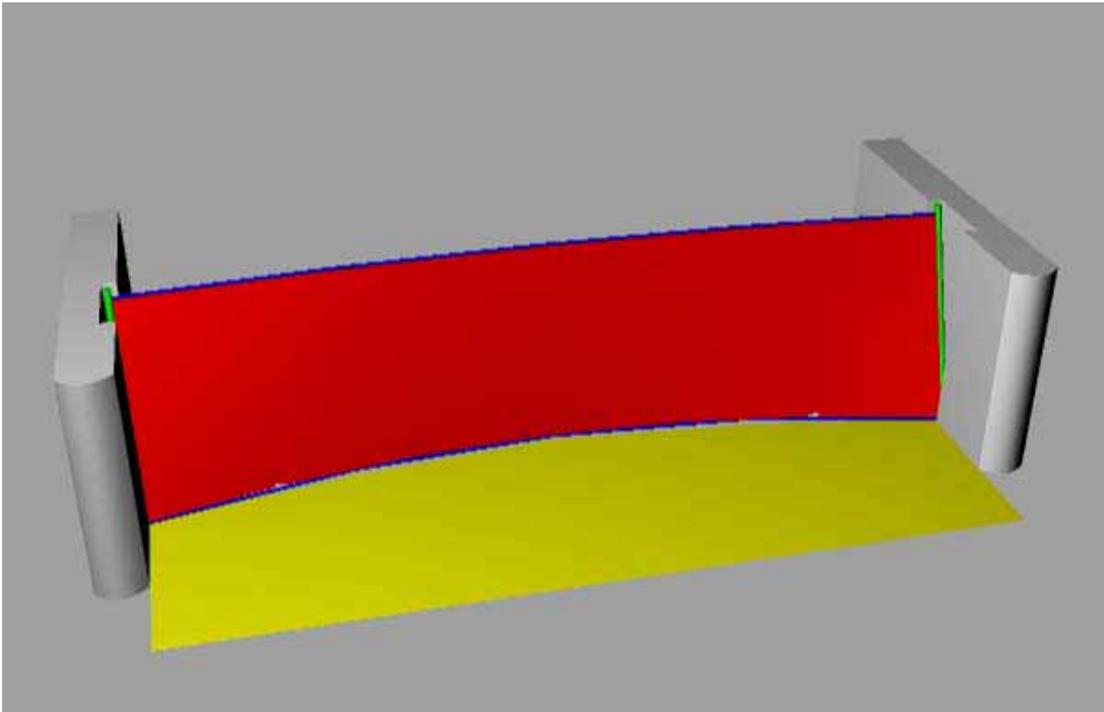


Figure 16 : Vue 3D de la quatrième solution

Pour assurer l'étanchéité en base, on peut placer des joints en forme de note de musique entre la réservation et le câble de la partie basse.

Les deux poteaux sont attachés en haut des piles pour faciliter la stabilité du système. Des joints sont également utilisés pour assurer l'étanchéité latérale (Voir § 5.6.1).

Un inconvénient de ce système avec deux poteaux inclinés est que, si l'on amène la membrane par flottaison, il faut pouvoir placer le batardeau même si le câble supérieur est situé au-dessus du niveau de flottaison.

1.5.1.7. Étanchéité

En base, l'étanchéité est assurée par la présence de la jupe sur laquelle un lest est déposé. Un joint est placé entre la réservation et le bas de chaque poteau. Latéralement, un joint est placé sur toute la longueur des deux poteaux inclinés.

1.5.1.8. Mise en oeuvre

Dans le cas présent, il n'est pas nécessaire d'amener le batardeau avec une grue. Sa mise en place requiert toutefois l'emploi d'engins du génie civil afin de placer la membrane correctement.

La solution alternative consistant à amener la membrane par flottaison peut être utilisée mais il faudra certainement remonter la membrane pour pouvoir fixer les poteaux en haut des piles ou culées ce qui nécessitera l'utilisation d'un engin de levage.

1.1.14. Alternative pour la mise en oeuvre

La membrane peut être transportée par flottaison pour toutes les solutions exposées. Ce nouveau type de batardeau, même si plus léger que beaucoup d'autres, a tout de même un certain poids dans le cas d'emploi de matériaux de type caoutchouc (plus d'une tonne).

Dès lors, le problème de son installation se pose. La méthode la plus classique emploie une grue qui dépose le batardeau à la verticale directement dans ses encoches. La jupe est ensuite déployée.

Les conditions d'accessibilité aux différents sites où se situent les barrages sont parfois mauvaises. Dès lors, une solution intéressante serait d'amener la membrane sur son lieu d'utilisation par flottaison. Mais son poids relativement conséquent implique l'utilisation de divers artifices pour assurer la flottabilité.

Par exemple, on pourrait insérer les deux câbles horizontaux dans des flotteurs. Le flotteur du câble du haut serait permanent. La jupe, quant à elle, serait soit équipée de flotteurs soit constituée d'une matière gonflable. Divers modules de flottaison (en polyuréthane, par exemple) seraient employés pour faire flotter la membrane elle-même.

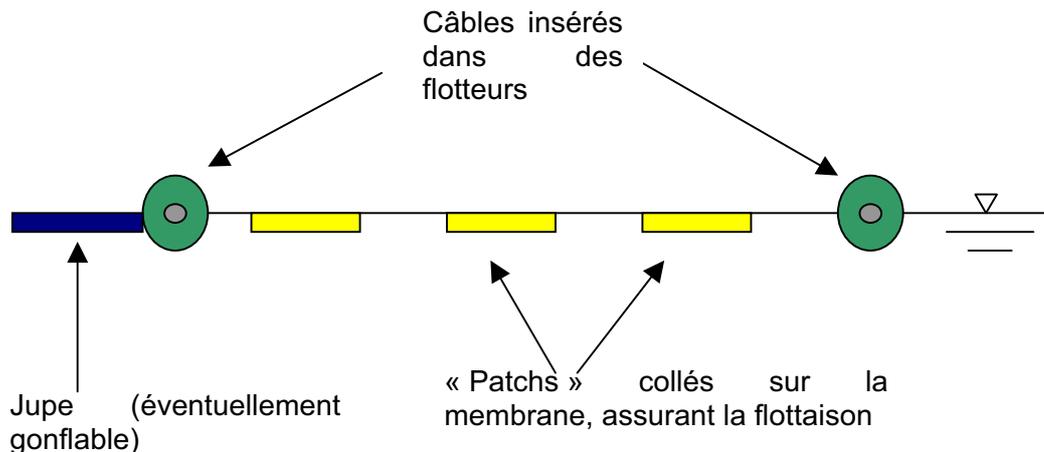


Figure 17 Membrane et ses organes de flottaison sur le plan d'eau (vue de face)

Une fois la membrane prête à être mise en position, les flotteurs de la bâche et ceux de tous les câbles, sauf celui de la partie supérieure, seraient dégonflés ou enlevés. Dans le cas où le flotteur supérieur reste gonflé, il faudrait, pour assurer le confort et la sérénité des techniciens, ajouter une revanche (par exemple un autre flotteur) par-dessus le flotteur entourant le câble, afin d'éviter un débordement par-dessus le batardeau en cas de petites vagues par exemple.

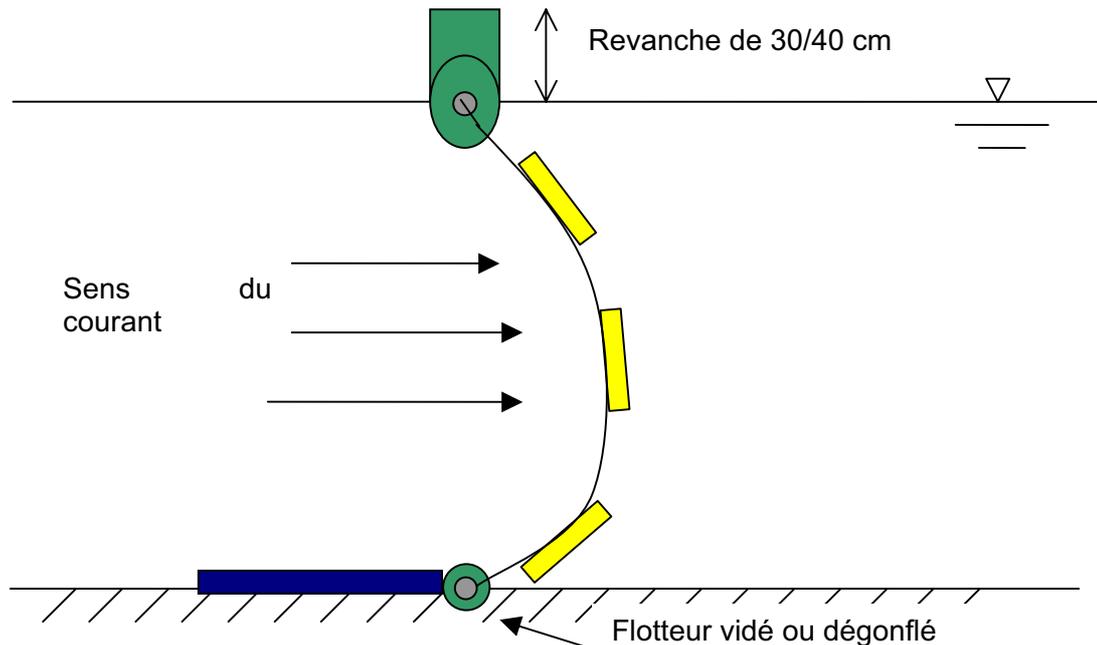


Figure 18 Vue de la membrane déployée

Plusieurs firmes actives dans le domaine de la flottabilité ont été contactées par nos soins. Voilà ce qui en est ressorti.

Seaflex¹¹ : Cette société britannique est spécialisée dans des matériaux de flottaison gonflables. La plupart de leurs produits sont destinés à faire flotter des objets de grande taille mais une partie de leurs produits peut être utilisée pour notre application. Ils peuvent faire du « sur-mesure » ou adapter un produit existant à condition de disposer de plans précis du batardeau. Dès lors, ils ne sont pas encore en état de remettre une liste de prix.

Flotation Technologies¹² : Cette firme est spécialisée dans les matériaux de flottaison résistant aux pressions des grandes profondeurs. Cependant, elle a effectué de nombreux travaux et recherches sur les élastomères en polyuréthanes destinés à être employés pour faire flotter des câbles. Réaliser des flotteurs spéciaux pour les câbles entourés dans la membrane, fait partie intégrante de leur domaine de compétence.

Gilman Corporation¹³ : Ils sont spécialisés dans la réalisation de mousses à base d'ionomères. Les ionomères sont des polymères à très haute teneur. Ce type de mousse est flexible et dispose d'une très faible densité. Dans leur gamme de produits, il y en a certains relatifs à la flottaison et qui pourraient être employés comme soutien de la membrane durant son transport. Leurs éléments, qui ont une forme cylindrique ont une capacité d'aide à la flottaison pouvant aller jusqu'à un peu plus de 1000 kilos. Un tel élément coûte environ 2000 \$. Les plus petits éléments, que l'on doit forcément utiliser en plus grande quantité coûtent quelques centaines de dollars pièce.

¹¹ <http://www.seaflex.co.uk>

¹² www.flotec.com

¹³ www.gilmancorp.com

Plastifab¹⁴ : Cette firme crée des articles à base de polystyrène expansé. Ils font des blocs parallélépipédiques de flottaison qui peuvent faire office de modules à placer sur la membrane.

Dow Chemical¹⁵ : Cette multinationale crée notamment des blocs de flottaison (Styrofoam). Ces derniers pourraient aussi être employés pour le transport de la membrane. Un bloc parallélépipédique (taille : 18 cm x 50.8 cm x 123 cm) peut aider à la flottaison de 55 kg. Prix : 65 \$ pièce.

Legerlite¹⁶ : Ce groupe est spécialisé dans la production de polystyrène expansé. Ils sont capables de réaliser des coupes spéciales pour créer des équipements de flottaison.

Une firme textile comme Texline est capable de faire des parties flottantes moyennant la présence de valves. Gonfler la partie supérieure (dans laquelle se trouverait un léger câble) de la membrane est tout à fait possible.

¹⁴ www.plastifab.com

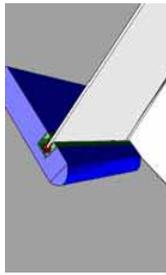
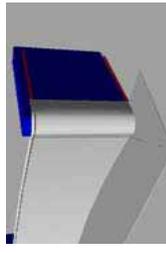
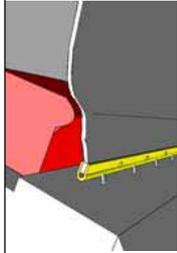
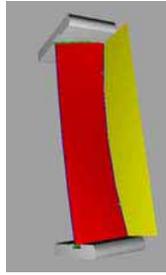
¹⁵ www.dow.com

¹⁶ www.legerlite.ca

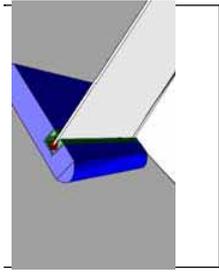
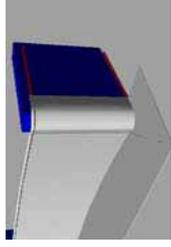
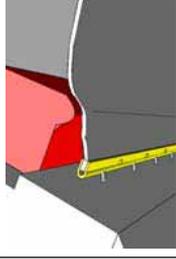
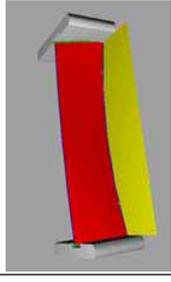
1.1.15. Tableau comparatif des solutions

Dans un premier temps, nous avons compilé dans un tableau tous les écueils propres à chacune des solutions envisagées. Par la suite, nous avons confronté les solutions proposées aux huit exigences principales souhaitées.

1.5.1.9. Écueils de chaque solution

Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
			
Nécessité de sceller les éléments métalliques dans la maçonnerie des rainures Obligation d'employer un engin de levage pour amener le batardeau par le haut et le faire glisser dans les rainures Problème du déploiement de la jupe	Il faut mettre des possibilités de fixation des câbles sur les piles/culées ou sur le radier Problème du déploiement de la jupe	Nécessité de fixer les éléments amovibles afin de pouvoir les retirer après utilisation il faudra à chaque fois résoudre le problème de la mise en place et de l'enlèvement de ces éléments Problème du déploiement de la jupe	Nécessité de creuser des réservations pour y enfoncer les piquets Difficulté de maintenir l'écartement des poteaux surtout s'il n'y a pas de réservations Problème de l'étanchéité latérale (un joint suffit-il ?) Obligation d'employer un engin de levage pour amener le batardeau à son emplacement Difficulté de dimensionner correctement les deux piquets et de calculer leur inclinaison optimale Problème du déploiement de la jupe

1.5.1.10. Réponse aux exigences principales

	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
batardeau de maintenance	 oui	 oui	 oui	 oui
étanchéité suffisante	oui	oui via la forme de l'élément amovible	oui	oui sauf peut-être étanchéité latérale
système modulaire	oui via la déformation que peut tolérer la membrane	oui via la taille de l'élément amovible et le positionnement des crochets dans la pile ou la culée	Problème de déploiement de jupe pour les petites passes et problème pour attacher à une culée	Modulable en position basse via le rajout d'un élément ajustable à la poutre treillis
manoeuvrabilité aisée	Non : nécessite grue pour le placement	Peut être amené par flottaison mais demande tout de même de la main d'œuvre pour le placement	Pas besoin de grue mais demande de la main d'œuvre pour le placement	Non : Besoin de grue
facilement transportable	oui	oui	oui	oui
maintenance aisée	oui	oui : aisée au niveau des ancrages et des câbles en tension	oui : aisée au niveau des ancrages	oui
facilité de stockage	oui	oui	oui	oui
batardeau amovible	oui	oui	oui	oui

1.5.1.11. Conclusions

Il ressort de ces deux tableaux que certaines solutions envisagées ne respectent pas les exigences édictées au commencement du projet.

La solution 1 est à proscrire car elle est trop compliquée à mettre en œuvre. La solution 4 est technologiquement fort innovante mais est également assez peu pratique.

Les solutions 2 et 3 sont celles qui présentent le plus d'avantages notamment en terme de flexibilité.

La solution 2 est la plus simple à mettre en pratique si la passe à batardeau est située entre deux piles.

1.6. Matériaux utilisés

Divers types de matériaux pourraient être employés.

1.6.1.1. Fibres aramides

Les fibres aramides peuvent être ajoutées à des matériaux de type caoutchouc. Les fibres aramides se décomposent en deux grandes familles, les méta-aramides et les para-aramides.

Les fibres para-aramides peuvent être utilisées pour renforcer les matériaux en caoutchouc tels les pneus de véhicules. Il existe deux grands fabricants de ce type de produits : Du Pont de Nemours avec le Kevlar et Akzo/Teijin avec Twaron.

Ces fibres présentent un bon équilibre de résistance et de module en traction et, en particulier une excellente résistance spécifique à la rupture en traction, ce que nous recherchons pour notre membrane. Mais elle a une reprise importante d'humidité (environ 4%) et a une certaine sensibilité aux UV. A titre d'exemple, elle est ajoutée dans les pneus car elle a le meilleur rapport performance/poids.

Voici quelques propriétés de ces fibres¹⁷ :

Densité : 1.39 g/cm³

Résistance à la rupture : 3500 MPa

Module de Young : 74000 MPa

1.6.1.2. Géomembranes

Les géomembranes sont employées dans diverses applications pour leur caractère d'étanchéité.

La membrane EPDM est une membrane en caoutchouc synthétique vulcanisée à 100% à base d'Éthylène-Propylène-Diène Monomère (ou Terpolymère, qui est simplement un produit constitué de trois monomères distincts). Il s'agit d'un élastomère. Elle a une excellente résistance aux UV et à l'ozone.

Le PEHD, polyéthylène haute densité, est un thermoplastique cristallin. Ce polymère est remarquablement stable chimiquement face aux sollicitations de la chaleur, des rayons UV et des produits chimiques. Une certaine rigidité et un important coefficient de dilatation thermique handicapent toutefois les géomembranes en PEHD (tendance à se plisser).

Les matériaux utilisés dans les barrages gonflables sont :

Bridgestone : Le matériau est composé de couches de caoutchouc renforcées avec du nylon. Une couche protectrice finale en EPDM est appliquée afin de permettre une résistance aux UV et à l'ozone.

¹⁷ Fibres Technora de la firme Twaron

Rubena : La membrane fait 12mm d'épaisseur et possède 3 couches de renforcement. Ce renforcement est du polyamide (nylon). Le caoutchouc est du SBR (Styrene Butadiene Rubber) avec une couche finale d'EPDM.

Sumigate : Le matériau employé est du caoutchouc synthétique avec des couches intermédiaires de nylon. Le nombre de couches dépend de la tension. En surface, il y a une couche de caoutchouc résistant aux conditions climatiques.

1.6.1.3. Textiles techniques

Pour tout ce qui concerne le textile technique, les tissus peuvent être enduits et traités de différentes façons, leur conférant ainsi des propriétés spécifiques suivant l'application voulue.

Dans certains cas, ils peuvent avoir une densité inférieure à 1, ce qui contraindrait à devoir ballaster la membrane au moment de son placement malgré la présence d'un câble en acier à la partie basse.

Voici quelques caractéristiques de certains de ces textiles ou de leurs enduits:

Polyester

Densité : 1.38 g/cm³

Résistance à la rupture : 1150 MPa

Module de Young : 13000 MPa

Si on exprime les résistances par bandes de 5cm de tissu¹⁸, on obtient

1 tonne/5 cm de tissu dans le sens longitudinal du tissu

1,5 tonnes/5 cm de tissu dans le sens transversal du tissu

HMPE (high molecular polyethylene)

Densité : 0.98 g/cm³

Résistance à la rupture : 2650 MPa

Module de Young : 88000 MPa

Nylon 6

Densité : 1.14 g/cm³

Résistance à la rupture : 1000 MPa

Module de Young : 5000 MPa

1.7. Étude de faisabilité technique

D'après les contacts avec différentes firmes, il apparaît que le projet est réalisable techniquement. Les matériaux de type caoutchouc mêlé à des couches de nylon ou autres fibres telles du Kevlar sont possibles. Aucune réelle innovation technologique ne devrait être réalisée par une de ces firmes pour réaliser une membrane d'un tel type. De même, une membrane faite à base de textile enduit peut s'envisager.

Par exemple, on peut employer le même matériau que celui qui sert à confectionner les boudruches des barrages gonflables. Il suffit de mettre le nombre adéquat de couches de tissus (nylon etc.) à l'intérieur du caoutchouc de sorte d'avoir une résistance suffisante. Nous pouvons donc obtenir une membrane étanche, très résistante et de faible épaisseur.

Le matériau doit cependant être très solide de sorte que, d'après de premiers calculs, il faudra employer soit du caoutchouc renforcé par des couches de fibres (de nylon par exemple), soit des textiles enduits. Les contraintes et/ou les déplacements que subit la

¹⁸ Tests réalisés à l'Université de Liège pour la société Texline.

membrane avec d'autres matériaux que ceux précités sont en effet trop élevés pour assurer la sécurité du personnel travaillant sur l'ouvrage considéré.

C'est surtout au niveau des fixations que les calculs sont importants car c'est là que la membrane est la plus sollicitée et soumise à des risques de déchirure qui peuvent être préjudiciables à la résistance du système.

Pour connaître suffisamment précisément cette résistance, des tests en laboratoire sont nécessaires.

La membrane, si elle est faite avec un matériau suffisamment résistant, semble pouvoir être utilisée dans beaucoup de configurations. Le pouvoir réel de « modularité » (adaptabilité à différentes tailles de passe) sera à vérifier par des tests. Puisque ce sont les fibres qui confèrent sa résistance à la membrane, une épaisseur de l'ordre du centimètre suffirait.

Le transport par flottaison est possible. Cependant, aucune firme rencontrée jusqu'ici n'a assuré la faisabilité d'une jupe gonflable. Même en son absence, le batardeau peut flotter. Par ailleurs, dans l'hypothèse d'emploi de textile technique pour la confection de ladite jupe, nous aurions affaire à un matériau fort léger, d'une densité proche de l'unité voire inférieure. Le poids ne serait pas préjudiciable dans ce cas de figure.

Les tests sont importants pour les matériaux à base de textile technique qui sont moins chers mais qui sont aussi moins résistants. L'un des points à vérifier sera la tenue à la déchirure d'une membrane constituée d'un tel matériau, en particulier au niveau des attaches.

1.8. Étude de coûts

Afin de réaliser une estimation des coûts, il faut tenir compte du coût de fabrication de la membrane (matériau + système de fixation), des coûts de génie civil et des coûts du matériel de flottaison dans l'hypothèse où la mise en œuvre par flottaison serait retenue.

Les coûts de génie civil dépendent évidemment de la solution envisagée. Ils ne sont cependant pas conséquents.

Pour le textile, nous avons un ordre de grandeur de 30 €/m². Ces prix sont moins élevés que pour les membranes à base de caoutchouc car les couches de fibres qui renforcent le matériau sont chères. Les fabricants de ces dernières ne peuvent encore donner de prix précis car ils déterminent le nombre de couches de fibres suivant les forces exactes auxquelles sera soumise la membrane aux endroits critiques.

Pour les éléments de flottaison, certaines parties sont à faire sur mesure et un prix ne peut être avancé tant que des plans précis du batardeau n'ont pas été effectués. Cela ne pourra donc se faire qu'après avoir effectué des calculs précis par éléments finis et effectué quelques tests.

Pour ce qui a trait à ce que nous avons nommé les « patches » de flottaison pour la membrane, il faut compter au minimum 1000 euros au total. Les flotteurs devant entourer les parties câblées sont plus chers car ils doivent être faits sur mesure.

1.9. Conclusions

Suite aux conclusions de la première partie, il est apparu qu'une solution se trouvant sur le marché correspondait approximativement à ce qui était recherché pour le nouveau type de batardeau membranaire. Cependant, cette solution présente quelques points faibles (pas de modularité, pas facilement adaptable sur un ouvrage existant etc.).

Des recherches ont donc été menées sur diverses solutions techniquement possibles et sur des types de matériaux pouvant être employés pour ce projet.

Les différents contacts pris avec des industriels à ce sujet se sont avérés positifs quant à la faisabilité d'un batardeau membranaire. Plusieurs possibilités existent quant à l'emploi des matériaux, des solutions envisagées etc.

Des tests en laboratoire doivent être effectués afin de vérifier que la résistance de la membrane est suffisante aux endroits critiques et afin de tester certains types de matériaux. Les fabricants pourront ensuite nous fournir des prix précis tant en ce qui concerne la membrane proprement dite que les accessoires de flottaison etc.

**division
Restauration et
Développement du
Réseau**

175, rue Ludovic
Boutleux,
boîte postale 820,
62408 Béthune

cedex

téléphone

03 21 63 29 87

télécopie

03 21 63 24 58

www.vnf.fr

janvier 2007

Étude réalisée par :



ANAST
Université de Liège,
1 Chemin des Chevreuils,
Bâtiment B52/3,
4000 Liège Belgique

Relecture, modifications

Stéphanie Poligot-Pitsh :
CETMEF

Laura Chapital :
VNF

Rédacteurs

Philippe Rigo :
Professeur ULg - Directeur de recherche du FNRS

Sandra Lizin :
Ingénieur de recherche