Analyse technique de mise en œuvre de la solution digue amovible dans les dispositifs de protection contre les crues

Phase 1 – Actualisation de solutions techniques et recueil des retours d'expérience sur leur utilisation

Référence	*Date*	*Rédigé par*	*Vérifié par*	*Statut du document*
1711C1001_01_v4	mai 2018	JR	CH	Version_v3

ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE

2 Quai du Fort Alleaume
CS 55708
45057 ORLEANS CEDEX

SOCOTEC INFRASTRUCTURE

Département Hydraulique et Sols
14 avenue Gustave Eiffel, Montigny le Bretonneux
78182 SAINT QUENTIN EN YVELINES Cedex
infrastructure@socotec.com

Sommaire

1 Introduction 10
2 Solution 1 : Digues amovibles avec ancrage 11
2.1 Description 11
2.2 Temps de mise en œuvre 14
2.3 Rehaussement 15
2.4 Stockage 15
2.5 Durée de vie 15
2.6 Prix 16
2.7 Récapitulatif 17
3 Solution 2 : Structures rigides inclinées sans ancrage 19
3.1 Description 19
3.2 Temps de mise en œuvre 22
3.3 Rehaussement 23
3.4 Stockage 25
3.5 Durée de vie 25
3.6 Prix 25
3.7 Récapitulatif 26
4 Solution 3 : Structures souples inclinées sans ancrage 28
4.1 Description 28
4.2 Temps de mise en œuvre 31
4.3 Rehaussement 32
4.4 Stockage 32
4.5 Durée de vie 32
4.6 Prix 33
4.7 Récapitulatif 33
5 Solution 4 : Structure gonflable 35
5.1 Description 35
5.2 Structure 38
5.3 Fixation aux extrémités 38
5.4 Temps de mise en œuvre 39
5.5 Rehaussement 40
5.6 Stockage 40
5.7 Durée de vie 40
5.8 Maintenance 40
5.9 Prix 40
5.10 Récapitulatif 41
6 Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux 42
6.1 Description 42

6.2 Temps de mise en œuvre 44
6.3 Rehaussement 44
6.4 Stockage 45
6.5 Durée de vie 45
6.6 Prix 45
6.7 Récapitulatif 46
7 Solution 6 : Structures composées d'éléments rigides auto-stables 47
7.1 Description 47
7.2 Temps d'installation et mise en œuvre 48
7.3 Rehaussement 49
7.4 Stockage 49
7.5 Durée de vie 50
7.6 Prix 50
7.7 Récapitulatif 50
8 Solutions mixtes 51
8.1 Batardeaux inclinés – Batardeaux à ancrages 51
9 Récapitulatif 52
9.1 Notation des solutions 52
9.2 Prix des solutions par Mètre linéaire 55
9.3 Récapitulatif des solutions préconisées 55
10 Conclusion 59
11 Retour d'expérience 60
11.1 Ville de Besançon 60
11.2 Ville de Givet 61
11.3 Ville de Louvigny 63
11.4 Bâtiment de l'Agence Française de Développement 64
12 Annexes 67
12.1 Estimation_prix_ESTHI 67
12.2 Références 67
12.3 Retour d'expérience 67

Liste des figures

Figure 2-1 : Prague - inondation 2002 (Eko-système) 11
Figure 2-2 : Batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires (MSU) 12
Figure 2-3 : Fondation génie civil des poteaux intermédiaires (MSU) 13
Figure 2-4 : Fixations des batardeaux (Eko-Système) 13
Figure 2-5 : Fixation dans le mur 13
Figure 2-6 : Fixation en applique latérale au mur 13
Figure 2-7 : Fixation en sailli en fin de muret 14
Figure 2-8 : Fixation en applique latérale au mur (Aquabarrière) 14
Figure 2-9 : Installation des batardeaux à planche (Ekosystem) 14
Figure 2-10 : Stockage des batardeaux à planchette (Ekosystèm) 15
Figure 2-11 : Exemple Abaque de dimensionnement de l'entreprise ESTHI (voir abaque complète dans annexe) 18
Figure 3-1 : Visualisation du système (Aquabarrière) 19
Figure 3-2 : Eléments des batardeaux avec une membrane étanche (Aquabarrière) 20
Figure 3-3 : systèmes d'étanchéité Ksystèm 20
Figure 3-4 : Installation du Ksystèm 21
Figure 3-5 : Ancrage aux sols sur revêtement bitumineux 21
Figure 3-6 : Ancrage aux sols sur revêtement béton 21
Figure 3-7 : Positionnements des batardeaux (Aquabarrière) 22
Figure 3-8 : Jonction murale (Aquabarrière) 22
Figure 3-9 : Mise en œuvre des batardeaux à membrane étanche (Aquabarrière) ... 23
Figure 3-10 : Modularité (« STABI » de Feugier environnement) 24
Figure 3-11 : Ancrage du Ksystem (ESTHI) 24
Figure 4-1 : Schéma de batardeau membranaire (Megasecureurope) 28
Figure 4-2 : Fonctionnement d'un batardeau membranaire (Megasecureurope) 28
Figure 4-3 : Schéma de batardeau membranaire (Megasecureurope) 29
Figure 4-4 : Caractéristiques emprise aux sols Watergate (Megasecureurope) 29
Figure 4-5 : Décomposition d'un système membranaire 30
Figure 4-6 : Liaison Watergate/paroi - Source : Megasecureurope 31
Figure 4-7 : Déploiement de batardeaux membranaires (Watergate) 31
Figure 4-8 : Stockage de batardeaux membranaires (Watergate) 32
Figure 5-1 : Batardeaux gonflables 35
Figure 5-2 : Schéma d'une digue gonflable avec jupe d'ancrage (ESTHI) 36
Figure 5-3 : Schéma barrage gonflable (Source : VNF) 36
Figure 5-4 : Caractéristiques des digues gonflables (RCY) 37
Figure 5-5 : Jonctions des tubes par manchettes en jaune (RCY) 37
Figure 5-6 : Caractéristiques des digues gonflables (Environment Solutions) 38
Figure 5-7 : Caractéristiques structure gonflable (RCY) 38
Figure 5-8 : jonction d'une solution à une paroi (utilisation d'un système en aluminium) 39

Figure 5-9 : Phases de montage de la digue gonflable (Noflood) 39
Figure 6-1 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure à remplir de matériau (VNF)..... 42
Figure 6-2 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure imperméable à remplir d'un matériau (VNF) 42
Figure 6-3 : Membrane étanche à remplir (ESTHI) 43
Figure 6-4 : Montage des batardeaux à membrane étanche (ESTHI)..... 44
Figure 6-5 : Superposition des batardeaux à remplissage « rapiddam » (ESTHI)..... 45
Figure 6-6 : Stockage de système à membrane étanche (ESTHI) 45
Figure 7-1 : Batardeau autostable Box Wall (ESTHI)..... 47
Figure 7-2 : Fixation aux extrémités avec joint d'étanchéité..... 48
Figure 7-3 : Connections (ESTHI) 48
Figure 7-4 : Verrouillage (ESTHI) 49
Figure 7-5 : Support gravitaire (ESTHI) 49
Figure 7-6 : Stockage des éléments auto-stable..... 49
Figure 8-1 : Mise en œuvre d'un système mixte 51
Figure 8-2 : Installation mixte système incliné, système à planchette (ksystem/système à planchette) 51
Figure 9-1 : Mise en œuvre d'une solution DIGUES AMOVIBLES AVEC ANCRAGE56
Figure 9-2 : Mise en œuvre d'une solution STRUCTURES RIGIDES INCLINEES ... 57
Figure 9-3 : mise en œuvre de la protection STRUCTURES SOUPLES INCLINEES SANS ANCRAGE..... 57
Figure 9-4 : Mise en œuvre de la protection STRUCTURE GONFLABLE 58
Figure 11-1 : Déploiement du système Watergate à Besançon 60
Figure 11-2 : Déploiement du système batardeaux rigide à Givet..... 62
Figure 11-3 : Déploiement du système batardeaux rigide à Givet..... 63
Figure 11-4 : Localisation du bâtiment AFD (en rouge), implantation de la solution (en bleu) 64
Figure 11-5Localisation du bâtiment AFD (en rouge), implantation de la solution (en bleu), cinétique de l'inondation (flèche bleu)..... 65
Figure 11-6 : Aération en aval du système de protection..... 65
Figure 11-7 : Fixation du batardeau à l'existant- bâtiment AFD 66
Figure 11-8 : Système de protection..... 66

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Avantages/Inconvénients des batardeaux à poutrelles avec poteaux intermédiaires 17
Tableau 2-2 : Estimation Prix/durée d'installation batardeaux à planchettes 17
Tableau 3-1 : Exemple de prix indicatif fourni par ESTHI (voir Annexe) 25
Tableau 3-2 : Avantages/Inconvénients des batardeaux inclinés (aquabarrière) 26
Tableau 3-3 : Avantages/Inconvénients des batardeaux inclinés (ksystem) 26
Tableau 4-1 : Avantages/Inconvénients des batardeaux membranaires 33
Tableau 5-1 : Temps de mise en œuvre digues gonflables (RCY) 40
Tableau 5-2 : Prix estimatif entreprise ESTHI 41
Tableau 5-3 : Avantages/Inconvénients des batardeaux gonflables 41
Tableau 6-1 : Prix estimatif entreprise ESTHI- BOX Wall 46
Tableau 6-2 : Prix estimatif entreprise ESTHI- RapidDam 46
Tableau 6-3 : Avantages/Inconvénients des protections par remplissage de batardeaux 46
Tableau 7-1 : Prix indicatif fourni par ESTHI 50
Tableau 7-2 : Avantages/Inconvénients des batardeaux autostables 50
Tableau 9-1 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour H < 0.5 m 52
Tableau 9-2 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 0.5 < H < 1.0 m 53
Tableau 9-3 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 1.0 < H < 1.5 m 53
Tableau 9-4 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 1.5 < H < 2.0 m 54
Tableau 9-5 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour H > 2.0 m 54
Tableau 9-6 : Prix des solutions par Mètre linéaire 55

Sources :

[1] Fiche_technique_NOAQ_TubeWall
[2] Fiche_technique_NOAQ_BoxWall
[3] Fiche_Technique _K-System_IBS
[4] Fiche_Technique_JackBox_IBS
[5] Fiche_technique_STABI_ESTHI
[6] Fiche_technique_RapidDam_ESTHI
[7] Catalogue_batardeaux_VNF
[8] Diagnostique_des_batardeaux_AVIGNON_SOCOTEC_Infrastructure
[9] AQB-DOC
[10] Brochure Barrages Mobiles NoFloods 2016
[11] Plaquette_Barrage_Inondation_Water-Gate

Phase 1 : Analyse technique digues amovibles

1 INTRODUCTION

Syndicat mixte créé en 1983, l'Etablissement public Loire (EP Loire) contribue à la cohérence des actions menées à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents. Il assume la maîtrise d'ouvrage d'opérations menées à cette échelle, ou présentant un caractère interdépartemental ou interrégional.

Dans ce contexte, il s'est engagé depuis fin 2015 dans la co-construction d'un Projet d'Aménagement d'Intérêt Commun (PAIC) des ouvrages de protection contre les inondations sur le bassin de la Loire et ses affluents.

Préalablement, il avait été amené à étudier le rôle que pourraient jouer des digues amovibles dans les dispositifs de protection concertés, dans le cadre d'études de vals de Loire dans le Cher et la Nièvre ainsi que dans le Giennois.

L'EP Loire a souhaité poursuivre cette réflexion, d'une part sur les territoires précédemment étudiés afin de confirmer ou d'adapter les solutions envisagées, et d'autre part sur d'autres sites en Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) du bassin de la Loire à identifier.

Cette analyse technique confiée à SOCOTEC Infrastructure comporte deux volets :

- L'actualisation de solutions techniques et le recueil des retours d'expérience sur leur utilisation ;
- Une projection sur une dizaine de sites issus des études réalisées et de sites en TRI.

SOCOTEC Infrastructure s'est donc attaché à recenser l'ensemble des techniques disponibles et les caractéristiques de ces différents systèmes afin de proposer des solutions adaptées aux contraintes des sites à étudier. Sont présentées et comparées ici différentes méthodes de déploiement de digues amovibles sur de longs linéaires, en s'intéressant plus particulièrement à trouver des solutions pour :

- Les crues fréquentes ou moyennes, à montée relativement lente ;
- La protection de secteurs à enjeux pouvant s'étendre sur des linéaires ;
- Permettre une installation suffisamment rapide.

Dans les chapitres suivants, six solutions de protection amovible sont présentées. Chacune des solutions est décrite et illustrée. Un comparatif des avantages et inconvénients est établi ainsi qu'une estimation de leur coût de mise en œuvre.

Pour compléter cette analyse, une synthèse de retours d'expériences de gestionnaires de protections amovibles est réalisée.

2 SOLUTION 1 : DIGUES AMOVIBLES AVEC ANCRAGE

2.1 Description

Ce type de batardeau est l'évolution du batardeau classique à poutrelles ou à panneaux. Le batardage est analogue au batardage traditionnel mais les éléments bois sont remplacés par des éléments en aluminium.

Les poutres sont empilées les unes au-dessus des autres entre deux poteaux intermédiaires en forme de H jusqu'à boucher toute la passe. Les poteaux sont le plus souvent logés dans des réservations dans le radier. Les extrémités sont parfois munies de galets permettant le batardage en eau vive. Pour garantir l'étanchéité, les poutres sont équipées de joints d'étanchéité latéraux et inférieurs. Ce principe de batardage est également utilisé avec des panneaux. Le choix d'utilisation de panneaux ou de poutres est déterminé en fonction du poids des éléments et de leurs manutentions.



Figure 2-1 : Prague - inondation 2002 (Eko-systèm)

Afin d'assurer la stabilité de la structure, il est en général préconisé de ne pas dépasser une portée de 5 m. Sur les passes de portées supérieures, il est nécessaire de placer des appuis intermédiaires. Ces appuis sont constitués de poutrelles aluminium espacées de 3 maximums pour une hauteur d'eau de 3 m. pour les hauteurs d'eau moindre les espacements peuvent être allongés mais doivent permettent de respecter le critère de déformation (<1/150 de la longueur).

Il existe une variante à ce type de système. Les batardeaux sont toujours composés de panneaux ou de poutres rigides placés horizontalement entre des poteaux mais ceux-ci sont supportés par des béquilles. Ils sont semblables au batardeau ci-après.



Figure 2-2 : Batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires (MSU)

Les appuis intermédiaires nécessitent un dimensionnement et la création d'une fondation génie civil. On peut estimer que la portée maximale est d'environ 5 m entre les poteaux. En fonction de la hauteur de protection, il est possible de les espacer de manière plus importante. Le dimensionnement des espacements est réalisé en fonction de la résistance et de la déformation des plaques sous chargement hydrostatique maximal.

Les sections des caissons qui forment les planches sont dimensionnées par le fournisseur en fonction de la hauteur d'eau, mais principalement de la portée entre deux poteaux. Dans ce cas le critère de déformation sera prépondérant. L'entreprise MSU dispose de plusieurs types de batardeaux en aluminium avec des sections variables (inertie allant de 633 cm4 à 832 cm4), avec des hauteurs de planchettes de 155 mm à 205 mm.

Par exemple pour un batardeau de 3.8 m de portée et d'une hauteur de 1.610 m, l'entreprise a fourni à la ville d'Avignon, des planches « 1606 175 » (planchettes standard de 175 mm de hauteur).

L'entreprise MSU indique que la portée maximale entre 2 poteaux est de 6 m pour une hauteur d'eau maximale de 0.80 cm. Pour des hauteurs d'eau plus importantes, il est nécessaire de réduire la portée à 3.50 m maximum.

2.1.1 Structure

Les fondations de ce type d'ouvrage génie civil nécessitent des travaux de mise en œuvre des fixations des platines avec ferraillage du radier. L'étude de ces fondations est simple et ne nécessite pas de grand moyen d'étude car ces fondations sont superficielles. Il suffit donc de déterminer les caractéristiques des sols et de réaliser une étude de basculement et de glissement. Il est également important de statuer sur le risque de remontée de nappe dans la zone protégée.

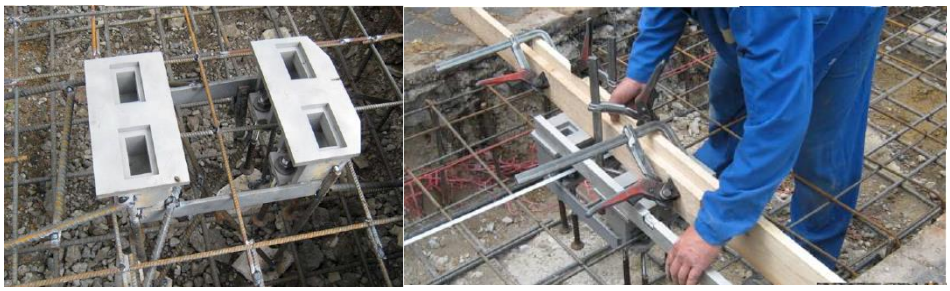


Figure 2-3 : Fondation génie civil des poteaux intermédiaires (MSU)



Figure 2-4 : Fixations des batardeaux (Eko-Système)

Cela peut nécessiter d'équiper le dispositif de pompe(s) de refoulement. Il en est de même s'il y a possibilité de saturation de réseaux d'eau pluvial ou assainissement générant un risque d'inondation à l'arrière des barrières de protection.

L'avantage de ce type de structure est qu'il possède une grande résistance aux impacts d'embâcles et qu'il permet une protection pour des hauteurs d'eau importantes.

2.1.2 Débit de fuite

Les poutrelles sont empilées les unes sur les autres dans des glissières en aluminium. Grâce à un système de joint d'étanchéité et de 2 étriers de compression boulonnés sur l'élément supérieur, le débit de fuite est extrêmement limité. La littérature indique qu'il n'est que d'environ 2 litres/heure/ml.

2.1.3 Fixation aux extrémités

Il existe différentes options de fixation aux murs présentées ci-après :

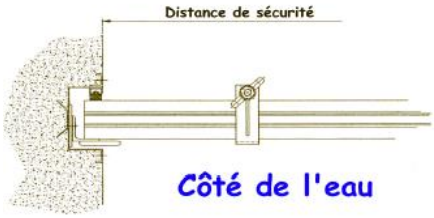


Figure 2-5 : Fixation dans le mur

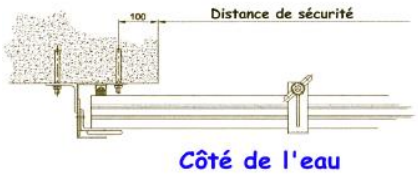


Figure 2-6 : Fixation en applique latérale au mur

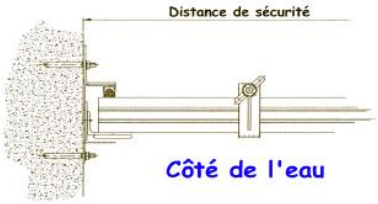


Figure 2-7 : Fixation en sailli en fin de muret



Figure 2-8 : Fixation en applique latérale au mur (Aquabarrière)

Les fixations sont étudiées de manière à assurer l'étanchéité des batardeaux. Il est nécessaire d'avoir un personnel formé au montage de ce type de batardeau afin que l'étanchéité soit parfaitement réalisée.

Dans le cas où la structure viendrait s'appuyer sur un remblai, il est préconisé de prévoir la construction de mur de terminaison avec vérification de l'étanchéité.

2.2 Temps de mise en œuvre

Le temps de mise en œuvre d'un poteau est d'environ 5 à 20 minutes selon les conditions climatiques. Une fois que le matériel est sur place, l'installation des poutres est par la suite quasi automatique. La vérification de l'assemblage de la structure peut, quant à elle, prendre plus de temps afin de garantir une parfaite étanchéité.

Il est important de signaler qu'en fonction des fournisseurs, le temps de mise en œuvre ainsi que le matériel indispensable pour celle-ci peut varier. Par exemple, l'utilisation de camion grue ou d'outils particuliers peut être requise. Une planification adéquate des outils est donc nécessaire afin de faciliter l'installation. De manière générale l'installation du système nécessitera à minima un plateau de transport.



Figure 2-9 : Installation des batardeaux à planche (Ekosystem)

L’entreprise EKO-system a indiqué que leur système d'ancrage au sol peut être installé par une personne seule, une fois le poteau déchargé du camion. Celle-ci sera capable de positionner seule le poteau dont les griffes viennent se mettre dans les orifices de la platine intégrée dans le sol et pourra serrer les 4 écrous seule.

Une fois les poteaux mis en place, pour des portées de 3 m et en fonction de la hauteur totale de la protection, il faudra 1 ou 2 personnes qui placeront chaque poutre en une minute et ce jusqu'à une hauteur d'environ 1.80 m.

La hauteur totale de la protection aura une influence sur l’épaisseur de la poutre aluminium et donc sur le poids.

2.3 Rehaussement

La rehausse est limitée par la hauteur des poteaux. En effet, les fondations sont dimensionnées en fonction des efforts dues à la pression hydrostatique maximale correspondant à la hauteur de protection choisie. De ce fait, le rehaussement de la hauteur de protection doit être prévu initialement lors du dimensionnement des fondations et de l'acquisition des poteaux.

Il est ainsi envisageable de prévoir une structure métallique pouvant supporter une hauteur d’eau importante et d’installer uniquement des poutres à une hauteur correspondant à la crue prévue si elle est inférieure.

2.4 Stockage

Le stockage des batardeaux en aluminium est très important étant donné leurs caractéristiques. Il est nécessaire de prévoir un stockage à l’abri des intempéries en prévoyants 1 m² de surface pour 5 m² de batardeaux.



Figure 2-10 : Stockage des batardeaux à planchette (Ekosystèm)

2.5 Durée de vie

La durée de vie de cet ouvrage n’est pas définie de manière précise. Celle d’un ouvrage Génie civil est usuellement de 30 à 50 ans. Celle de la partie équipement de la protection, d’après le retour d’expérience de la commune de Givet, serait de 20 à

30 ans. Le dimensionnement des ouvrages de fondation sera réalisé en fonction de cette durée de vie et de la crue de projet.

La commune de Givet, indique qu'il est nécessaire d'entretenir le joint en mousse pour assurer la longévité de l'ouvrage.

2.6 Prix

Le prix de ces structures varie significativement selon la largeur des passes (portée des poutres) et la hauteur de protection. Les poutres intermédiaires engagent un surcoût lors de la construction des fondations.

La fourniture des éléments peut être estimée entre 1000€ à 3000€ /ml. Cette estimation est basée sur la prise en compte de la mise en place des éléments suivants :

- La fourniture des batardeaux et poteaux intermédiaires ;
- L'étanchéité et la fixation des rails latéraux ;
- Le soudage des platines au sol sur le berceau de ferraillage fourni et positionné par l'entreprise de TP.

Les poteaux peuvent être réalisés soit en aluminium (avec ou sans peinture époxy cuite au four comme cela avait été fait à Maastricht), soit en acier INOX V2A qui engendrerait un surcoût.

La fourniture des équipements, les études et les travaux de génie-civil peuvent être estimés à un prix compris entre 5000 €/ml à 7000 €/ml selon les informations de la ville de Givet. Le retour d'expérience de la ville Givet nous indique que l'ensemble des études et travaux représente un coût de 6765 €HT / ml pour une hauteur de 3.4m.

En annexe est présentée la documentation d'ESTHI qui nous a permis d'obtenir un ordre de grandeur des prix de ces équipements. L'entreprise indique que ces prix sont des estimations non contractuelles visant à établir des budgets de fourniture à l'attention principalement des bureaux d'étude, Maître d'ouvrage et donneurs d'ordre. Les prix excluent la pose, les notes de calcul ainsi que les petits accessoires optionnels.

2.7 Récapitulatif

Avantages	Inconvénients
Débit de fuite très faible	Mise en place longue – plus de 72 h pour 1400 m de linéaire et 25 personnes.
Résistance à la corrosion	Travaux de génie civil pour fondation à prévoir
Résistance mécanique (hauteur d'eau ou embâcles)	Coût 2000 € à 7000 €/ml
Transport facile	Installation nécessitant de nombreuses personnes
Hauteur de protection importante	

Tableau 2-1 : Avantages/Inconvénients des batardeaux à poutrelles avec poteaux intermédiaires

Un des avantages de ce type d'ouvrages est que l'étanchéité est assurée à l'aide de fixations qui compriment les planchettes. La structure en acier inoxydable permet une très grande durée de vie. La structure des planchettes est en caisson ce qui permet d'augmenter l'inertie et sa résistance à de très grandes hauteurs d'eau et aux impacts.

Néanmoins la mise en œuvre est longue (de l'ordre de 24 à 72 h) pour des longueurs de protection importante (supérieur à 2 km) et nécessite la présence d'au moins 25 personnes.

Un prédimensionnement des ouvrages devra être réalisé spécifiquement pour chaque site en s'appuyant sur les études hydrauliques. Ces pré-dimensionnements donneront un ordre de grandeur des sections, leur géométrie et le prix des éléments à mettre en œuvre. Ce type d'étude de dimensionnement doit être réalisé de manière spécifique pour chaque site.

Si on considère que l'installation par 3 personnes d'un poteau dure 20 min et que celle d'une planche dure 1 minutes, on peut estimer que l'installation d'une protection de 1000 m linéaire, pour une section de planchette 150*100, des poutres de section 100*150-5.0, est la suivante :

Hauteur de protection	Hauteur de poteaux	Longueur de poutres maximum	Emprise au sol	Coût (fourchettes €/ml)	Moyens humains et matériels nécessaires	Temps de mise en œuvre
0.5	0.540	6.0	-	3000	25 personnes	8h
1.0	1.045	4.5	-	4000	25 personnes	12h
1.5	1.560	4	-	5000	25 personnes	15h
2 0	2.060	3.5	-	6000	25 personnes	20h
2.5	2.480	3	-	7000	25 personnes	25h

Tableau 2-2 : Estimation Prix/durée d'installation batardeaux à planchettes

Le prédimensionnement des planchettes DBAL 100*150 se fait en fonction d'un critère de déplacement. La courbe en pointillé représente la limite de déplacement qui

est de 1/150 de la portée. L'écart entre deux poteaux est représenté en abscisse (axe horizontal). La hauteur d'eau est représentée en ordonnée (axe vertical).

Ainsi pour une hauteur d'eau de 4.0 m, l'écart maximal entre deux poteaux est de 3 m.

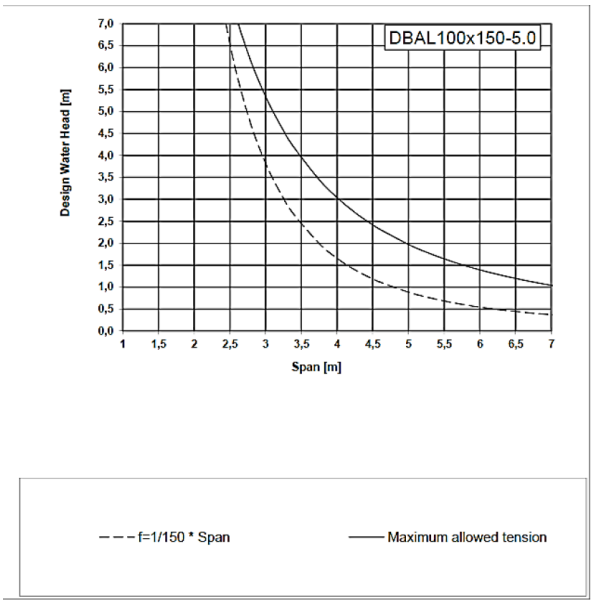


Figure 2-11 : Exemple Abaque de dimensionnement de l'entreprise ESTHI (voir abaque complète dans annexe)

3 SOLUTION 2 : STRUCTURES RIGIDES INCLINEES SANS ANCRAGE

3.1 Description

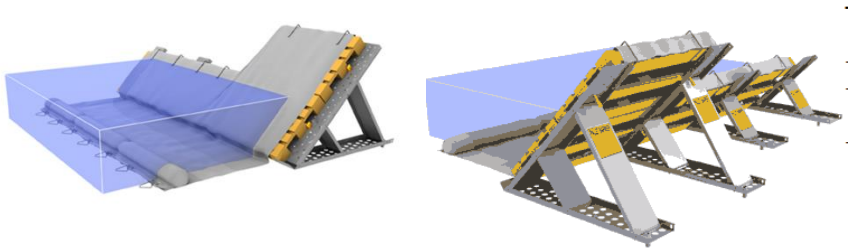


Figure 3-1 : Visualisation du système (Aquabarrière)

Il a été identifié à ce stade de l'étude le besoin et la nécessité de déployer des systèmes de protection amovible sur plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres. Il s'avère que l'un des systèmes de protection le plus performant pour ce type de besoin serait les batardeaux « Aquabarrière » ou les batardeaux de « STABI » de Feugier environnement. Cette protection est composée de structures métalliques assurant la résistance aux pressions et supportant une membrane imperméable.

La structure est composée de plusieurs parties. Une première partie est composée d'un tablier ou d'une planche qui repose sur un socle qui permet de répartir les charges de manière uniforme dans la structure métallique. Cette structure est inclinée de telle manière à reprendre le plus de chargement. La stabilité de l'inclinaison est assurée par des appuis répartis sur le sol.

La hauteur maximale de retenue de ce type de barrière est 2.40 m. Les modules peuvent être liés les uns aux autres sans limite de longueur longitudinalement. Ces barrières ne nécessitent pas d'ancrage au sol et peuvent donc s'adapter à toutes les surfaces. Le dispositif est interchangeable et rapide à mettre en œuvre. L'un des avantages de la structure est qu'elle peut être installée sur tous les sols.

La pression de l'eau sur la membrane étanche permettrait de s'affranchir des problématiques de surface. Il est donc possible d'installer la structure inclinée sur des sols relativement abruptes et accidentés.

3.1.1 Structure

Aquabarière :

La structure est composée d'éléments rigides fabriqués en acier galvanisé. Cette structure est prévue pour recevoir des éléments de type plaque d'aluminium (version barrière acier), des planches en contreplaqué marine bakélite (version barrière planches) ou des palettes normalisées (version palettes barrières). Une fois en place, l'eau recouvre la membrane étanche, assurant l'étanchéité. Le poids de l'eau sur le plan incliné maintient le système et annule la poussée latérale. L'écartement entre les jambes de force de 1.20 m est standard pour les aquabarrières.



Figure 3-2 : Eléments des batardeaux avec une membrane étanche (Aquabarrière)

Les hauteurs standard de protection sont 0.65 m, 1.25 m, 1.80 m et 2.40 m. Trois versions sont disponibles selon les besoins :

- version de base avec des palettes ;
- version standard avec des plaques en contre-plaqué marine (CPM de 21 mm) ;
- version optimum en plaques d'aluminium usinées ép. 5 mm (gain en volume de 1 à 4 par rapport au CPM, et 1 à 20 par rapport aux palettes).

A partir de 1.50 m de retenue d'eau, il est conseillé d'utiliser les plaques en CPM21, ou les plaques en aluminium, plutôt que les palettes.

Les Aquabarières ne nécessitent pas d'ancrage aux sols et peuvent s'adapter à toutes les contraintes de sites.

Ksystem :

Le Ksystem est constitué d'éléments en aluminium extrudé : poutres étanches, glissières pour poutres (profilé T), étais dorsaux, plaques d'appuis au sol, raccords filetés, cales de serrage et joints. Il existe deux joints verticaux (un à chaque extrémité des glissières pour poutres) et deux joints horizontaux pour chaque poutre.

La particularité de ces barrières réside dans son inclinaison de la surface de protection. Cette inclinaison forme un angle à 45º avec le sol : l'eau de la crue exerce une charge sur la surface inclinée stabilisant la barrière et l'immobilisant au sol.

Le Ksytem ne nécessite pas de bâche d'étanchéité mais n'est pas compatible avec tous les sols. En effet la linéarité du sol doit être suffisamment importante pour que le système assure l'étanchéité via des joints verticaux et horizontaux.

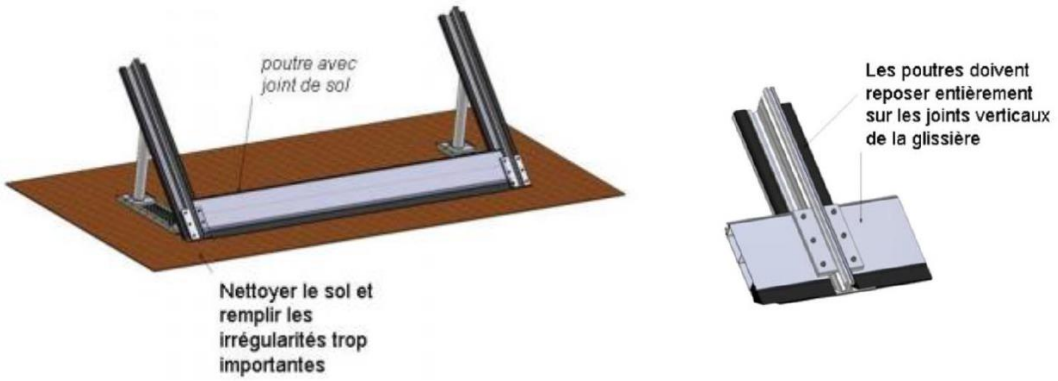


Figure 3-3 : systèmes d'étanchéité Ksystèm

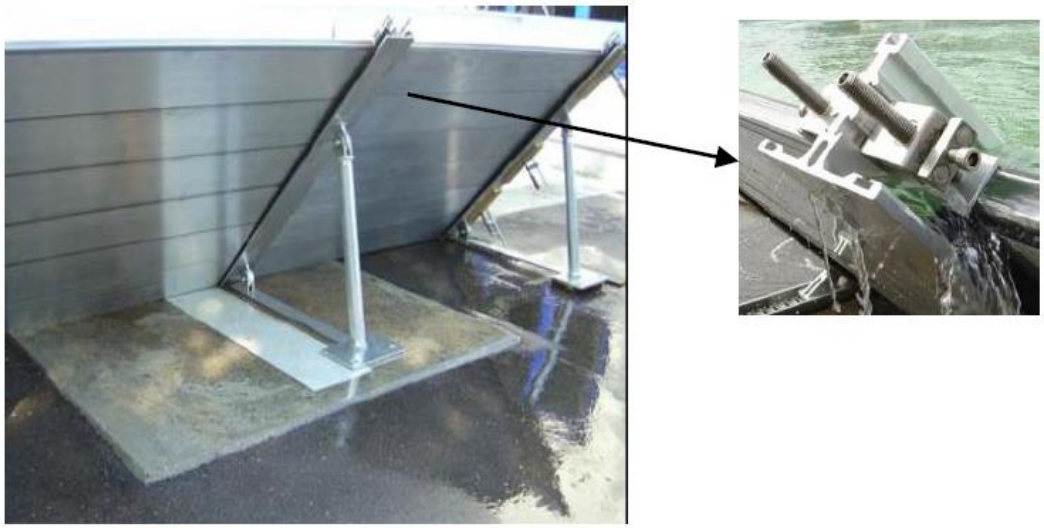


Figure 3-4 : Installation du Ksystèm

Le Ksystem nécessite des appuis spécifiques selon les types de sols.

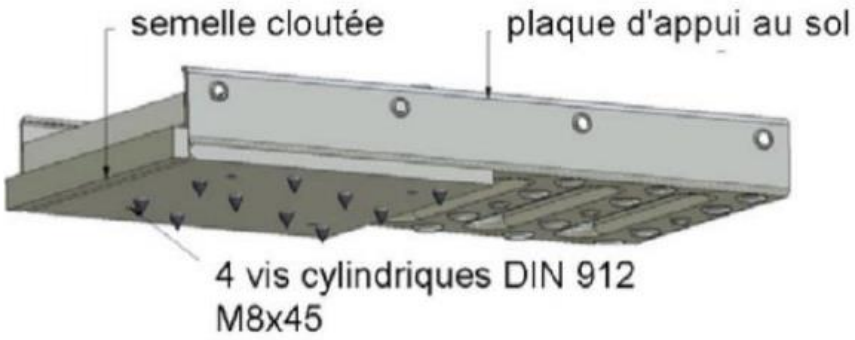


Figure 3-5 : Ancrage aux sols sur revêtement bitumineux

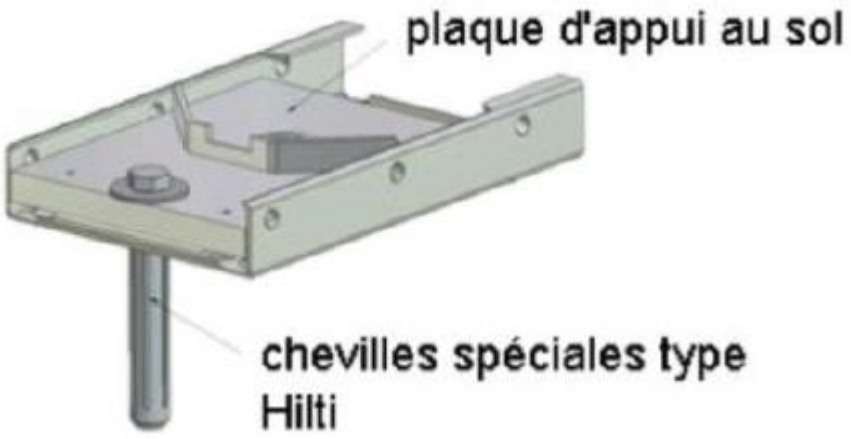


Figure 3-6 : Ancrage aux sols sur revêtement béton

3.1.2 Batardage

Le batardage des ouvertures lors de crue peut se faire de deux manières différentes schématisées ci-après :

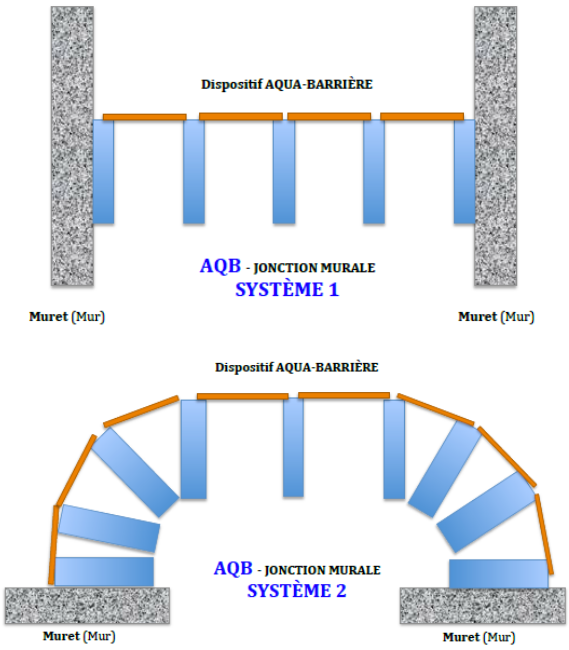


Figure 3-7 : Positionnements des batardeaux (Aquabarrière)

3.1.3 Fixation aux extrémités

La jonction aux murs est assurée par un système étanche de bâche. De plus, une mousse expansée permet de rattraper l'irrégularité du mur. La fixation au mur est alors mécanique et nécessite un ancrage fixe, permettant de gagner du temps en cas de crise.



Figure 3-8 : Jonction murale (Aquabarrière)

3.2 Temps de mise en œuvre

Le temps de mise en œuvre d'une structure de 100 m est d'une heure lorsque 4 personnes sont déployées. L'ancrage au mur existant prend du temps car la mise en œuvre est plus délicate. Il faut compter environ 20 à 30 min pour fixer les ancrages

de chaque côté. Néanmoins, il est important de prendre en compte le raccord au mur existant qui peut prendre plus de temps.



Figure 3-9 : Mise en œuvre des batardeaux à membrane étanche (Aquabarrière)

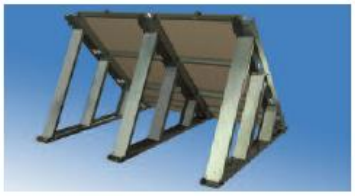
La fourniture de ce matériel est contenue dans un container standard EVP (équivalent 20 pieds : Un conteneur standard d'un EVP mesure 2.591 m de haut sur 2.438 m de large et 6.096 m de long ; cela représente environ 38.5 m^3) peut contenir de quoi équiper 300 m linéaire pour une protection de 1.25 m de hauteur.

Le dispositif est relativement complet mais nécessite une équipe formée pour sa mise en place et d'un poids lourd pour le transport et un moyen de levage (manuscopique flèche 12 m) pour amener les caisses de matériel. D'après le retour d'expérience de l'agglomération caennaise, celle-ci nous apprend que le montage de 400 m linéaire prend 2 jours pour un coût de 50 000 € avec une équipe de 10 personnes.

3.3 Rehaussement

Etant donné les caractéristiques techniques de la solution (plaques / structure métallique), il est peu envisageable d'installer des rehausses. La seule manière d'augmenter la hauteur de protection est de remplacer le système.

Néanmoins le produit « STABI » de Feugier environnement semble prévoir le rehaussement de leur structure par mise en œuvre successif de panneaux



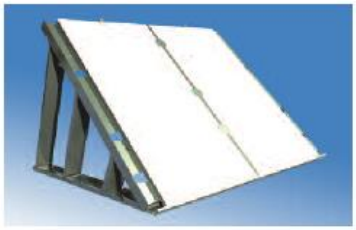
Hauteur = 3 panneaux



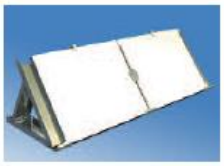
Hauteur = 2 panneaux



Hauteur = 1 panneau







	Type 3 panneaux	Type 2 panneaux	Type 1 panneau
Hauteur de protection	1.70 m	1.10 m	0.60 m
Largeur	Standard = 1m20 Ou sur mesure	Standard = 1m20 Ou sur mesure	Standard = 1m20 Ou sur mesure
Masse structure	63.5 Kg	35,8 Kg	16Kg
Masse traverse h	3.5 Kg	3.5 Kg	/
Masse traverse b	4.7 Kg	4.7 Kg	4.7 Kg
Palplanche	Planche alvéolaire PVC 8Kg/m linéaire		
Bâche	Toile PVC 220 g. /m2		

Figure 3-10 : Modularité (« STABI » de Feugier environnement)

La liaison avec l'existante se réalise par l'ancrage à une paroi. Il est possible de créer des raccords mobiles afin de satisfaire cet ancrage :



Figure 3-11 : Ancrage du Ksystem (ESTHI)

On peut constater que la liaison des structures inclinées à l'existant comme le produit « KSystem » se réalisent par des planches inox qui sont fixées aux parois. Pour stabiliser les éléments sans paroi, il est possible de prévoir une paroi temporaire stabilisée gravitairement.

3.4 Stockage

Un container standard EVP (équivalent 20 pieds) peut contenir de quoi équiper 300 m de protection en 1.25 m.

3.5 Durée de vie

Les premières barrières de type « aquabarrière » ont été installées en 1998. Il est donc raisonnable de penser que ce type d'équipement a une durée de vie d'au moins 20 ans car celles-ci n'ont pas été renouvelées.

Le fournisseur du Ksystem indique que le matériel possède une durée de vie nominale longue (plus de 50 ans) et nécessite peu d'entretien (un simple rinçage à l'eau claire est requis après utilisation.

3.6 Prix

Le prix de ces structures varie significativement selon la hauteur de protection.

L'agglomération caennaise nous a informés avoir déboursé 295 000€ pour l'achat de batardeaux type « aquabarrière » d'une longueur totale de 400 m et d'une hauteur de 1.50 m. De plus, la maintenance du matériel en 10 ans a couté 62 000€. Soit un coût total évalué de 500 € / ml à 1000€/ml.

La documentation d'ESTHI nous a permis d'obtenir un ordre de grandeur des prix de des équipements type « Ksystem ». L'entreprise indique que ces prix sont des estimations non contractuelles visant à établir des budgets de fourniture à l'attention principalement des bureaux d'étude, Maître d'ouvrage et donneurs d'ordre. Les prix excluent la pose, les notes de calcul, les petits accessoires optionnels :

K- system entraxe 2,5m		Prix fourniture			Prix Rack de stockage			Prix transport		
Hauteur protection (m)		0,55	0,9	1,3	0,55	0,9	1,3	0,55	0,9	1,3
linéaire de protection (m)	100	33 801 €	43 415 €	53 069 €	3 000 €	5 500 €	7 000 €	800 €	800 €	1 200 €
	200	59 754 €	76 459 €	103 674 €	7 500 €	13 000 €	17 500 €	1 200 €	1 200 €	1 600 €

Entraxe 2,5 m =un poteau démontable tous les 2,5 mètres

Tableau 3-1 : Exemple de prix indicatif fourni par ESTHI (voir Annexe)

L'estimation est fournie en annexe.

3.7 Récapitulatif

Le tableau suivant détaille les avantages et inconvénients des systèmes Aquabarières.

Avantages	Inconvénients
Hauteur variable (0.60 à 2.40 m)	Nécessite des lests
Transport facile	Ressources importantes pour l'installation nombreuses personnes avec camion pour transporter les éléments
Stockage optimisé	Jonction aux extrémités compliquée
Adaptable sur tout type de sol et irrégulier	Grande emprise au sol
Possibilité d'installer « en eau »	Peu de fournisseur
Retour d'expérience internationale (5 km de protection à Prague)	Rehaussement impossible
Prix 1000 €/ml	Montage onéreux et assez long (10 personnes : 400 m de barrière – 1.5 jours)

Tableau 3-2 : Avantages/Inconvénients des batardeaux inclinés (aquabarrière)

Les avantages de ce type d'ouvrages est que l'étanchéité est assurée à l'aide d'une bâche ou de joint étanche entre les structures inclinées. La structure en acier inoxydable permet une grande durée de vie et résiste à de très grandes hauteurs d'eau, aux impacts d'embâcles et aux forts courants. La structure permet de s'affranchir des caractéristiques de sols et peut donc s'installer sur des sols relativement accidentés.

Le tableau suivant détaille les avantages et inconvénients des systèmes KSystem.

Avantages	Inconvénients
Hauteur variable (0.60 à 1.50 m)	Ressources importante pour l'installation nombreuses personnes avec camion pour transporter les éléments
Transport facile	Non adaptable à tous les sols
Stockage optimisé	Peu de fournisseur
Emprise modérée	Rehaussement impossible
Prix de 500€/ml à 700€/ml	Montage onéreux et assez long (10 personnes : 400 m de barrière – 1.5 jours)

Tableau 3-3 : Avantages/Inconvénients des batardeaux inclinés (ksystem)

Le principal avantage du Ksystem est qu'il ne nécessite aucun travail de génie civil au préalable. De plus, les poutres horizontales et les glissières en T sont très légères (matériaux en aluminium) et donc faciles à manipuler en cas d'urgence. Enfin, le matériel possède une durée de vie nominale longue (plus de 50 ans) et nécessite peu d'entretien (un simple rinçage à l'eau claire est requis après utilisation).

Le Ksystem est néanmoins moins modulable que les aquabarrière car ce système ne peut pas s'adapter à tous les types de sols.

Néanmoins la mise en œuvre est longue (de l'ordre de 24 à 48 h) pour des longueurs de protection moyennes (supérieures à 100 m) et nécessite la présence d'au moins 10 personnes.

Un prédimensionnement des ouvrages devra être réalisé spécifiquement pour chaque site en s'appuyant sur les études hydrauliques. Ces pré-dimensionnements donneront un ordre de grandeur sur les sections, la géométrie et le prix des éléments à mettre en œuvre. Ce type d'étude de dimensionnement doit être réalisé de manière spécifique, et ne fait pas partie de la présente étude.

4 SOLUTION 3 : STRUCTURES SOUPLES INCLINEES SANS ANCRAGE

4.1 Description

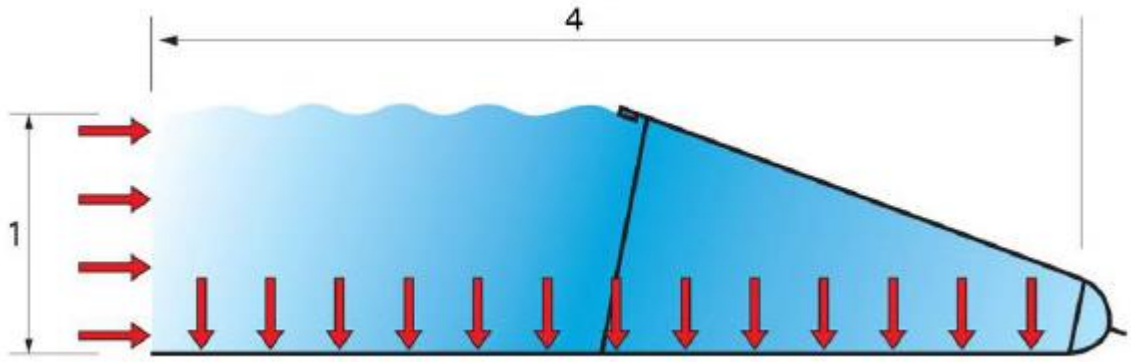


Figure 4-1 : Schéma de batardeau membranaire (Megasecureurope)

Le batardeau membranaire permet une installation instantanée. Aucune pompe n'est nécessaire puisque l'eau entre à l'intérieur de la barrière, créant ainsi un déploiement automatique. Une personne seule peut procéder à l'installation. Pour créer un barrage d'une longueur voulue, il suffit de raccorder des sections entre elles. L'opération est simple et ne nécessite qu'une personne. L'installation peut se faire en ligne droite ou en courbe. L'ajout de sections est simple et rapide.

Un exemple de batardeau membranaire est le Water-Gate. Le Water-Gate garantit une excellente étanchéité grâce à la pression de l'eau qui s'exerce sur la toile au sol et grâce à son système de lestage intégré empêchant l'eau de s'infiltrer sous le barrage. Le Water-Gate s'adapte à quatre différentes applications : inondation, anti-pollution, batardeaux, travaux aquatiques.

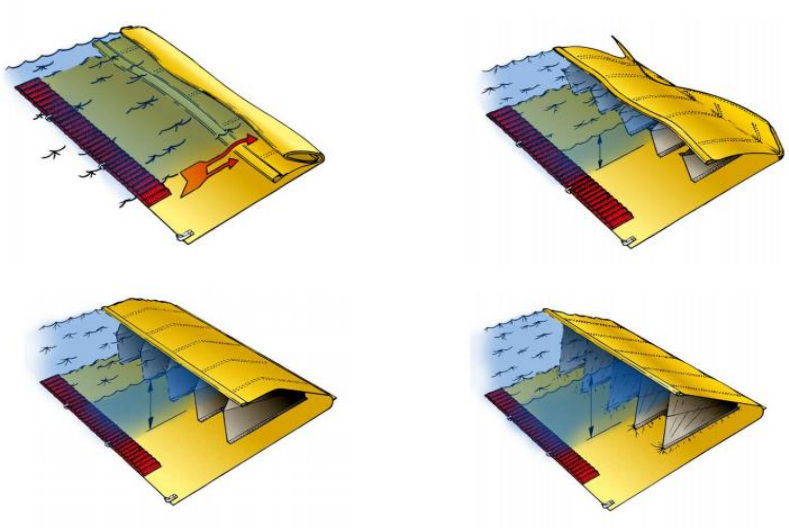


Figure 4-2 : Fonctionnement d'un batardeau membranaire (Megasecureurope)

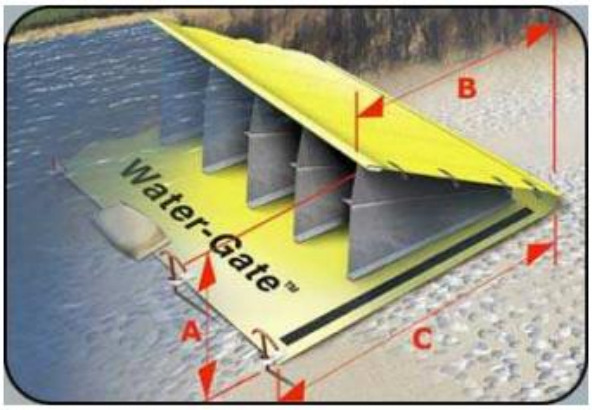


Figure 4-3 : Schéma de batardeau membranaire (Megasecureurope)

4.1.1 Structure

La pression de l'eau fait ouvrir la barrière en soulevant la toile supérieure. Cette pression d'eau fait en sorte que la barrière prenne la forme du terrain. La barrière peut assurer jusqu'à 2 mètres de hauteur de retenue.

La conception du batardeau membranaire, dans un rapport hauteur largeur de 1 à 4, assure une parfaite stabilité et adhérence à tout type de sols, quelle que soit la hauteur à défendre.

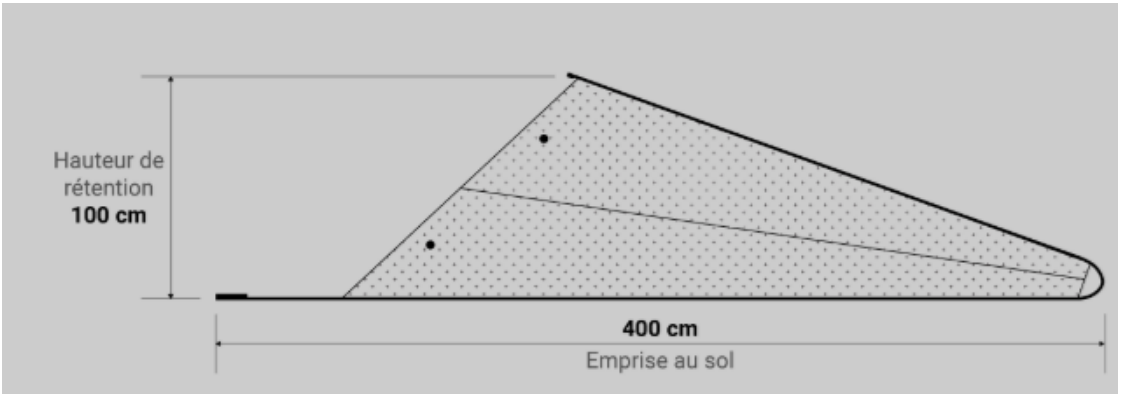


Figure 4-4 : Caractéristiques emprise aux sols Watergate (Megasecureurope)

Il est possible d'étendre sans limitation la longueur de la protection anti-inondation, et ceci sans perte d'efficacité. La protection anti-inondation peut être rallongée par simples rajouts successifs de nouvelles longueurs indépendamment des hauteurs de protection retenues (connexions rapides et sans outil par système de doubles velcros).

A l'inverse et avec la même simplicité, les éléments devenus inutiles du fait, par exemple d'une diminution de la crue, peuvent être rapidement retirés sans compromettre l'efficacité des protections encore en place.

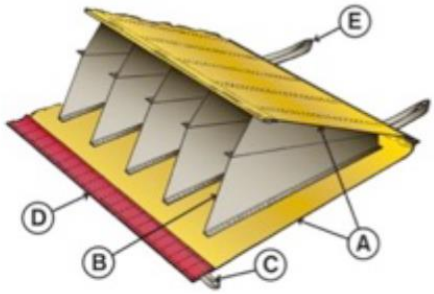


Figure 4-5 : Décomposition d'un système membranaire

La structure est composée d'une toile de polyester enduit de PVC résistante à l'abrasion pour assurer l'installation sur tout type de surface. (A)

Le batardeau est composé de cloisons étirées procurant ainsi une meilleure adhérence sur les surfaces lisses. (B)

La structure comporte des gances (joints) en polyéthylène pour assurer la rétention. (C)

Le batardeau contient un lestage de plaquettes d'acier galvanisé incorporées dans un filet en polyester cousu sur la barrière d'eau. (D)

Il y a également des ganses en polyéthylène facilitant la suspension pour séchage. (E)

Le système reste stable quel que soit le sens du courant (de face, latéral ou reflux) ou la pente du terrain. Il ne présente aucun risque de dérapage, et ne nécessite donc aucun ancrage.

Selon le constructeur le système membranaire résiste aux chocs d'embâcles grâce aux matériaux souples qui le composent, l'énergie d'un choc est aisément absorbée par le barrage, sans qu'il ne se brise, se déchire ou perde de sa stabilité. Dans le cas d'une déchirure lorsque le barrage est en eau, il est possible de glisser une pièce de toile à l'intérieur du barrage pour colmater la brèche (étanchéité assurée par la simple pression de l'eau sur la toile).

4.1.2 Fixation aux extrémités

La fixation aux extrémités se fait par l'ancrage du système à une paroi à l'aide de chevilles. L'étanchéité est assurée par la pression de l'eau qui s'applique sur la membrane.

S'il n'y a pas de paroi, il est nécessaire d'allonger le linéaire de 4 fois la hauteur de protection pour stabiliser la membrane, sur une zone non sujette à l'inondation ou de créer un système fixe pour l'ancrer.



Figure 4-6 : Liaison Watergate/paroi - Source : Megasecureurope

4.2 Temps de mise en œuvre

Les batardeaux membranaires se présentent sous la forme de rouleaux à dérouler sur le sol ou sont conditionnés dans un caisson spécialement étudié pour permettre un déploiement rapide par simple déplacement du caisson.

Le temps de mise en œuvre est extrêmement variable selon la hauteur de protection. En effet une passe de longueur de 10 m et d'une hauteur de protection de 1 m pourra être déployée en une dizaine de minutes.



Figure 4-7 : Déploiement de batardeaux membranaires (Watergate)

Lors d'une crue à montée rapide, un temps de réponse court est essentiel. Ce système permet de déployer la barrière de manière rapide. D'après la documentation, il suffirait de déplier le premier pli et de laisser l'eau s'y accumuler. La pression de l'eau ouvrira et gardera celle-ci en place peu importe le genre de fond sur lequel elle s'appuie. De plus, la barrière peut être déployée même si la crue a déjà commencé.

La solution ne nécessite aucun remplissage d'eau, gonflage d'air ou ancrage. Les barrières de 67 cm de haut et moins ne nécessitent pas de machinerie lourde pour le transport, la manutention ou l'installation. Plusieurs barrières de différents modèles et hauteurs peuvent facilement être jointes ensemble grâce à un système d'attache à double Velcro.

Les batardeaux membranaires sont fabriqués en longueurs unitaires inférieures ou égales à 15.2 mètres afin que leur mise en œuvre puisse être réalisée par seulement

une ou deux personnes (selon la hauteur de protection). Cette modularité permet également des protections discontinues pouvant s'adapter à toutes les situations.

La barrière a 4 fois plus de surface au sol que de retenue d'eau, donc 4 fois plus de poussée verticale (ou sur le sol) que de poussée horizontale, ce qui permet une bonne adhérence. L'emprise au sol de ce genre de solutions est donc importante.

4.3 Rehaussement

La membrane est constituée d'un seul bloc. De ce fait, il est peu concevable de pouvoir y installer des rehausses. La seule manière d'augmenter la hauteur de protection est de déployer une nouvelle barrière en amont ou de remplacer le système.

4.4 Stockage

Le stockage des batardeaux membranaires a été étudié pour une intervention rapide. Les fournisseurs ont donc réalisé des rangements dotés de roulettes facilitant le transport et le déploiement des barrières. Les caissons de déploiement permettent de couvrir de très longues distances en un temps record.

En moyenne, plus de 100 m de barrières sont stockées dans un seul caisson. Les caissons peuvent aussi être installés sur un chariot élévateur, une plateforme de camion ou directement accrochés à une remorque.

Les barrières sont préalablement attachées et empilées à l'intérieur de la boîte, ce qui vient éliminer le temps requis pour le déballage, le déroulement et la fixation des unités. Aucun détachement n'est alors possible. Par ailleurs, une main d'œuvre minimale est requise pour l'installation de ce produit.



Figure 4-8 : Stockage de batardeaux membranaires (Watergate)

4.5 Durée de vie

Constituées de matériaux polymères, l'espérance de vie de ce type de barrières d'eau est de 10 à 15 ans et peut être prolongée à 20 ans si l'entretien approprié est exécuté après chaque utilisation à raison de 2 à 3 utilisations par an. Il suffit simplement de rincer la barrière à l'eau clair afin d'éliminer toutes les saletés et les débris accumulés et de l'accrocher pour la faire sécher. Une fois la barrière

complètement sèche, il faut replacer le tout dans son sac de transport et l'entreposer à l'abri des rayons ultraviolets.

4.6 Prix

Le retour d'expérience de la ville de Besançon montre que pour une passe de 15 m de long sur 0.7 m de hauteur de protection, il a été nécessaire de réaliser des travaux d'ancrage de 11 000 € et 8 000 € pour les batardeaux latéraux. L'acquisition des batardeaux est évaluée quant à elle à 10 000 €.

Les travaux d'ancrage et des batardeaux latéraux restent inchangés quel que soit le linéaire de protection. Nous pouvons estimer le coût entre 500 €/ml et 700 €/ml. Pour 100 m de protection le coût est donc compris entre 50 000 et 70 000 €.

4.7 Récapitulatif

Avantages	Inconvénients
Hauteur variable (0.15 à 2.00 m)	Nécessite des lests
Transport facile	Ressources pour l'installation 2 à 3 personnes et un camion pour transporter les éléments
Rapidité de mise en œuvre (3 personnes : 100 m de barrière - 2 heures)	Jonction aux extrémités compliquée
Stockage peu encombrant	Grande emprise au sol
Adaptable sur tout type de sol et irrégulier	Peu de fournisseur
Possibilité d'installer « en eau »	Rehaussement impossible
Faible maintenance	
500€/ml à 700€/ml	

Tableau 4-1 : Avantages/Inconvénients des batardeaux membranaires

L'avantage de ce type d'ouvrages est sa mise en œuvre : elle est très simple et rapide. Elle ne nécessite pas beaucoup de main d'œuvre. La structure en polyester renforcé en PVC permet d'une grande durée de vie, résiste à l'abrasion et à de très grande hauteur d'eau, aux impacts d'embâcles et aux forts courants. La structure permet de s'affranchir des caractéristiques de sols et peut donc s'installer sur des sols accidentés et s'adapter aux mobiliers urbains et aux contraintes de sites (trottoirs, racines…). En fin d'utilisation, il suffit de rincer et de brosser légèrement pour ensuite rouler la barrière pour une prochaine utilisation.

La mise en œuvre est rapide : de l'ordre de 2 h pour une longueur de protection de 100 m et nécessite la présence d'au moins 4 personnes. Il est important de signaler que le système nécessite une grande emprise au sol (4 fois la hauteur de protection).

Un prédimensionnement des ouvrages devra être réalisé spécifiquement pour chaque site en s'appuyant sur les études hydrauliques. Ces pré-dimensionnements donneront un ordre de grande sur les sections, la géométrie et le prix des éléments à mettre en œuvre. Ce type d'étude de dimensionnement doit être réalisé de manière spécifique, et ne fait pas partie de la présente étude.

Le site mégasecureurope présente les caractéristiques des produits suivantes :

Hauteur de rétention	Emprise	Produit
15 cm	60 cm	WL06
35 cm	140 cm	WL14
50 cm	200 cm	WL20
67 cm	268 cm	WL26
80 cm	320 cm	WL32
100 cm	400 cm	WL39
130 cm	520 cm	WL50
150 cm	600 cm	WL60

Pour les hauteurs de protection supérieures à 1.50m, les produits sont faits sur mesure par le constructeur.

5 SOLUTION 4 : STRUCTURE GONFLABLE

5.1 Description

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. Le barrage est constitué de tubes en plastique renforcé qui sont reliés les uns aux autres pour former une barrière de protection temporaire - la « barrière tubulaire ».

Ces tubes sont généralement transportables et nécessitent des pompes pour le gonflage. Ils sont facilement installés et demandent souvent uniquement une installation manuelle et une ou deux pompes.

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.

Certains modèles possèdent une jupe soudée du côté qui fait face à l'inondation. Lorsque le niveau d'eau monte, la pression croissante de l'eau comprime la jupe contre le sol, ancrant ainsi le tube et du même coup l'ensemble de la barrière tubulaire. Il existe plusieurs produits correspondant aux batardeaux gonflables. Deux types de solutions se distinguent :

- Une solution avec une jupe d'ancrage ;



Figure 5-1 : Batardeaux gonflables

- Une solution où l'ancrage est assuré par le poids de la structure.

La solution avec une jupe d'ancrage : ce type de produit, permet de stabiliser la structure par la pression hydrostatique dirigée vers le sol. La pression hydrostatique est appliquée sur une bâche étanche qui est ancrée à la partie gonflée. L'entreprise ESTHI propose une digue gonflable avec une jupe d'ancrage **:**

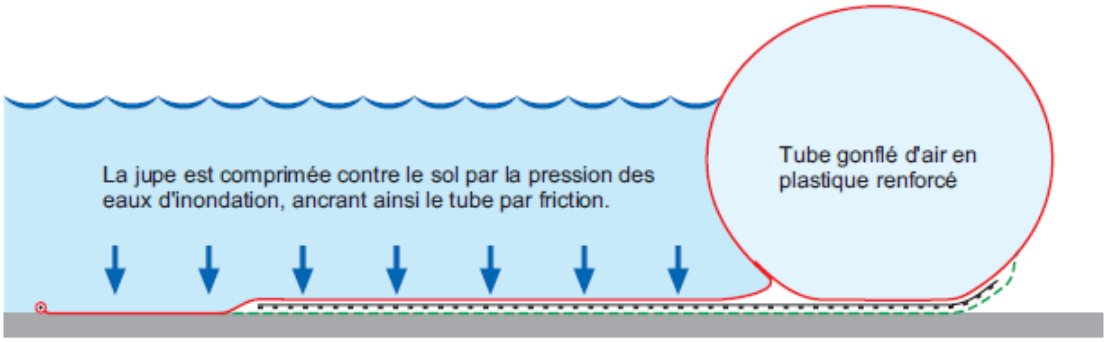


Figure 5-2 : Schéma d'une digue gonflable avec jupe d'ancrage (ESTHI)

Partie scellement : La partie extérieure de la jupe est comprimée fermement contre le sol pour empêcher le passage de l'eau.

Partie ancrage : La stabilité de la construction est directement proportionnelle à la différence des pressions d'eau entre la face supérieure et la face inférieure de la jupe. Une couche de drainage conduit les eaux d'infiltration à l'extérieur du côté non submergé.

Partie barrière : Le tube n'a qu'un seul rôle, retenir l'eau, puisque le scellement et l'ancrage se font à l'aide de la jupe.

La solution gravitaire : La solution gravitaire repose sur une digue « poids » qui est stabilisée par la gravité. Les produits sont proposés par RCY et la société Environment Solutions et No flood.

Pour pouvoir résister à la pression de l'eau, les barrières de protection temporaires contre les inondations peuvent être réalisées en matériaux pesants comme le sable ou le béton. Ce principe s'applique également aux tubes remplis d'eau.

Ce système de protection est généralement avantageux pour des longues distances. Il n'est pas adapté pour des faibles ouvertures et est sensible aux déchirures. Les déchirures peuvent être généralement réparées pendant l'utilisation de la structure à l'aide de rustine.

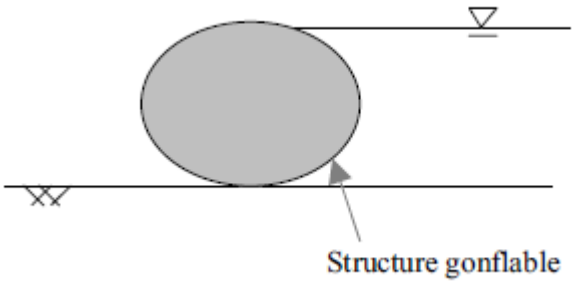


Figure 5-3 : Schéma barrage gonflable (Source : VNF)

Il est constitué de tubes en plastique renforcé remplis d'air qui sont raccordés les uns aux autres pour former une barrière de protection temporaire - la « barrière tubulaire ». Les tubes sont reliés par laçage avec des manchettes.

Il existe également des solutions de mise en œuvre sans jupe de stabilité, notamment dans le cas de la mise en œuvre de la superposition de plusieurs structures tubulaires. Le système WATER-RAILS propose les configurations suivantes :

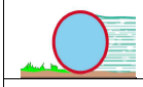
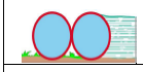
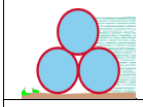
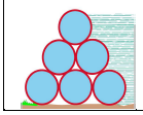
Configuration	Diamètre des tubes Ø(mm)	Hauteur de retenue H (mm)	Masse tubes remplis d'eau (kg/ml)	Poussée avec une vitesse de courant V = 0 m/s (kg/ml)	Coefficient de sécurité (masse des tubes / poussée) sans unité	Poussée avec une vitesse de courant V = 1 m/s (kg/ml)	Coefficient de sécurité (masse des tubes / poussée) sans unité
 1 monotube ou 1 universel	800	620	460	200	2,3	260	1,77
 1 bi-tube ou 2 universels	800	620	920	200	4,6	260	3,85
 1 bi-tube et 1 monotube ou 3 universels	800	1200	1380	720	1,92	820	1,68
 2 bi-tubes et 3 monotubes ou 6 universels	800	1800	2760	1620	1,7	1770	1,56

Figure 5-4 : Caractéristiques des digues gonflables (RCY)

Les jonctions linéaires des tubes se font par des manchettes qui permettent de lier deux éléments tout en conservant l'étanchéité et donc la protection à cette jonction. Le système de digue amovible proposé par l'entreprise RCY est composé de tubes qui peuvent être de différentes longueurs (5-10-15-20-30 m (sauf bi-tube Ø1000 mm fabriqués en 10-15-20 m). Le raccord entre les tubes est réalisé par des manchettes en toile soudés (650 gramme/m2) qui s'ancre de 2 m sur les tubes (soit une longueur totale de 4 m) :



Figure 5-5 : Jonctions des tubes par manchettes en jaune (RCY)

La hauteur de protection qu'offre le système No flood va de 50 cm à 160 cm, les hauteurs de protection eau sur ces protections vont jusqu'à 110 cm pour une hauteur installée de 160 cm.

Produit	Diamètre	Hauteur installée	Poids sec (corps de barrage)*	Poids installé/m	Hauteur d'eau enregistrée**
NF DOUBLE PRO 60	60 cm	50 cm	1,7 kg /m	535 kg/m	36 cm
NF TRIPPLE PRO 60	60/40 cm	70 cm	2,3 kg/m	650 kg/m	50 cm
NF DOUBLE PRO 125	125 cm	110 cm	3,5 kg/m	2.350 kg/m	80 cm
NF TRIPPLE PRO125	125/80 cm	160 cm	4,7 kg/m	2.800 kg/m	110 cm
NF DOUBLE BASIC 60	60 cm	50 cm	1,7 kg/m	535 kg/m	36 cm
NF DOUBLE BASIC 125	125 cm	110 cm	3,5 kg/m	2.350 kg/m	80 cm

Figure 5-6 : Caractéristiques des digues gonflables (Environment Solutions)

5.2 Structure

Les caractéristiques des matériaux composant les structures gonflables proposées par RCY sont les suivantes :

Caractéristiques	Tissu RCY 900	Tissu RCY 1 100 Précontraint	Normes
Type de support	Polyester 1100 dtex	Polyester 2x1100 dtex	--
Poids total du tissu enduit	900 g/m²	1100 g/m²	DIN EN ISO 2286.2
Résistance à la rupture (Chaine/Trame)	400/400 daN/5cm	420/400 daN/5cm	EN ISO 1421
Résistance à la déchirure (Chaine/Trame)	55/50 daN	55/50 daN	DIN 53 363
Adhérence	10 daN/5cm	12 daN/5cm	EN ISO 2411
Températures extrêmes d'utilisation	-30°C / +70°C	-30°C / +70°C	DIN EN ISO 1876.2

Figure 5-7 : Caractéristiques structure gonflable (RCY)

Composition de la digue gonflable :

- monotubes de Ø400 / Ø600 / Ø800 mm ;
- bi-tubes à membranes alvéolées Ø400 / Ø600 / Ø800 mm ;
- bi-tubes Ø1000 mm ;
- tubes à patte(s) universelle(s) Ø400 / Ø600 / Ø800 mm ;
- fabrication en longueurs 5-10-15-20-30 m (sauf bi-tubes Ø1000 mm fabriqués en 10-15-20 m) ;
- des pièces de raccordement droit ou d'angle appelées « manchettes » existent dans les quatre diamètres.

L'entreprise RCY propose des plaques de protection à mettre en œuvre pour se protéger des embâcles et participer à la tenue des ouvrages en cas de fortes vitesses.

Les différents fournisseurs ne se prononcent pas sur les vitesses que peuvent subir les batardeaux auto-stables.

5.3 Fixation aux extrémités

L'ancrage de la structure gonflable à l'existant se fait par un système en aluminium « jonction mur ».

D’après la documentation de l’entreprise ESTHI, les solutions auto stables peuvent également se stabiliser simplement contre les parois par lestage à l’extrémité, plaquées contre le mur. (exemple avec des sacs de sable)



Figure 5-8 : jonction d'une solution à une paroi (utilisation d’un système en aluminium)

5.4 Temps de mise en œuvre

Le temps de mise en œuvre d’un batardeau de ce type est relativement rapide. La documentation informe que le temps de mise en œuvre d’un barrage de 100 ml avec 4 personnes serait d’environ une heure. Mais elle nécessite une mise en place par camion et outil de levage.

La documentation No flood informe que la mise en œuvre des barrages est la suivante :

- 1ière phase : Arrivée et contrôle sur le site de déploiement.
- 2ième phase : Déploiement du Barrage. Rouler et tirer le Barrage dans la direction désirée ;
- 3ième phase : Connecter les terminaux et/ou les éléments de raccord aux corps de barrage ;
- 4ième phase : Connecter les pompes et remplir les corps de barrage ;
- 5ième phase : Le démontage/roulement du Barrage se fait aussi rapidement. Vider l’eau d’une manière contrôlée et rouler les corps de barrage.



Figure 5-9 : Phases de montage de la digue gonflable (Noflood)

Selon les produits, le temps de mise en œuvre varie de manière significative. Par exemple les produits WATER-Rails indiquent les temps de mise en œuvre suivants pour 100 mètres linéaires de barrages en éléments de 20 mètres :

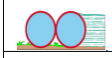
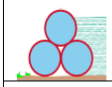
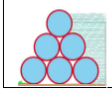
Configuration	Ø400 mm avec 2 opérateurs	Ø600 mm avec 2 opérateurs	Ø800 mm avec 2 opérateurs	Ø1000 mm avec 3 opérateurs
 1 monotube	30 min	50 min	1 h 20	--
 1 bi-tube ou 2 universels	1 h	1 h 30	2 h 30	3 h 30
 1 bi-tube et 1 monotube ou 3 universels	1 h 30	2 h 30	4 h	5 h 30
 2 bi-tubes et 3 monotubes ou 6 universels	3 h	5 h	8 h 30	--

Tableau 5-1 : Temps de mise en œuvre digues gonflables (RCY)

Les temps de mise en place sont donnés à titre indicatif. Ils sont calculés pour un remplissage simultané de 2 tubes avec une pompe de 45 m^3/heure. Avec 2 pompes et 4 ou 6 personnes (selon le diamètre des tubes) ces temps sont alors donnés pour 200 mètres linéaires de barrages.

5.5 Rehaussement

Ce type de structure ne permet pas véritablement de rehaussement. Cependant si on prend en considération les produits de RCY « tube universel », « monotube» et « bi-tube », il est envisageable de prévoir une hauteur de protection maximal de 1.80 m et de procéder à un montage total ou partiel du système en fonction des prévisions de la crue.

5.6 Stockage

Selon les différents produits, il semble qu'un tube de 1 m de diamètre de 10 m de long nécessite 0.5 m^3 de stockage. Pour une longueur de protection de 100 m de long, il est nécessaire de prévoir un rangement de 5 m^3. Cette estimation ne prend pas en compte les pompes et le matériel nécessaire à son déploiement.

5.7 Durée de vie

La durée de vie de ce type d'ouvrage est estimée à 10 ans d'après les fournisseurs.

5.8 Maintenance

La vidange doit être suivie d'un séchage complet des tubes avant le stockage de manière à prolonger leur durée de vie.

5.9 Prix

Le prix pour une hauteur de protection de 1 m et pour une longueur de 100 m est estimé entre 30 000 € et 40 000 €.

Le fournisseur RCY a indiqué que la fourniture d'une digue gonflable pour une hauteur de 1.80 m (hauteur maximale) coûte environ 300 €/ml.

La documentation d'ESTHI, nous a permis de connaître un ordre de grandeur sur les prix de ces équipements. L'entreprise indique que ces prix sont des estimations non contractuelles visant à établir des budgets de fourniture à l'attention principalement des bureaux d'étude, Maître d'ouvrage et donneurs d'ordre. Les prix excluent la pose, les notes de calcul, les petits accessoires optionnels :

Tube Wall		Prix fourniture			Nombre de palette			Prix transport (HT)		
Hauteur protection (m)		0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
linéaire de protection (m)	10	2 610 €	2 770 €	3 364 €	1	1	2	500 €	600 €	700 €
	100	23 490 €	24 940 €	30 595 €	3	3	4	1 000 €	1 100 €	1 200 €
	200 (tube de 20m)	46 545 €	49 445 €	60 610 €	4	6	7	1 200 €	1 400 €	1 600 €

Tableau 5-2 : Prix estimatif entreprise ESTHI

5.10 Récapitulatif

Avantages	Inconvénients
Polyvalent	Grand rapport largeur-hauteur
L'installation ne nécessite que des moyens humains et des pompes	Risque que l'eau à l'intérieur du tube gèle
Assez flexible pour s'adapter aux imperfections du terrain	Durée de vie limitée
Transport facile	Risque de poinçonnement
Prix de 200 à 400 €	

Tableau 5-3 : Avantages/Inconvénients des batardeaux gonflables

Le système de structures gonflables permet une installation rapide pour des hauteurs d'eau allant de 0.5m à 1.5m pour un coût réduit. Ce système permet de s'adapter à tout type de sols. Néanmoins ces structures sont sensibles aux courants et aux embâcles.

Le tableau suivant est une estimation basée sur les différentes informations des retours fournisseurs :

Hauteur de protection	Longueur des sections	Emprise au sol	Coût matériel (fourchettes €/ mL	Moyens humains et matériels nécessaires	Temps de mise en œuvre
0.5	20	0.80	200	2 personnes + pompes	60m/h
0.75	20	0.80	250	2 personnes + pompes	60m/h
1	20	1.60	300	2 personnes + pompes	30m/h
1.8	20m	2.75	350	2 personnes+ pompes	8h30

6 SOLUTION 5 : PROTECTION PAR REMPLISSAGE DE BATARDEAUX

6.1 Description

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, imperméable ou non. Les différentes combinaisons de ces solutions donnent des systèmes de protection difficilement comparables.

- 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. 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. Ce type de barrière fonctionne comme un barrage poids. Le poids et le matériau utilisé pour le remplissage procurent la stabilité structurelle et l'imperméabilité et empêche ainsi la destruction de la structure entière par la force de l'eau.

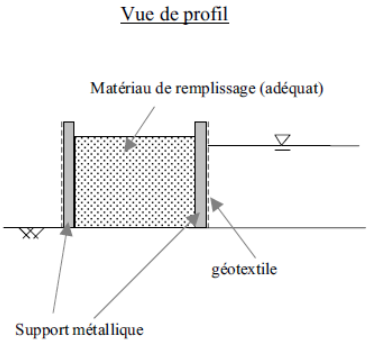


Figure 6-1 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure à remplir de matériau (VNF)

- 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.

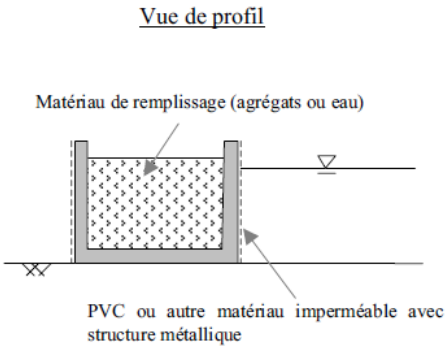


Figure 6-2 : Schématisation d'un batardeau composé d'une structure imperméable à remplir d'un matériau (VNF)

Certain batardeaux de ce type sont constitués de compartiments multiples rapidement remplis de sable ou tout-venant à faible granulométrie (le sable est le matériau de remplissage le plus efficace). Le remplissage des compartiments s'effectue par pelle hydraulique ou camion béton-toupie.

6.1.1 Structure

L'entreprise ESTHI propose un produit « rapide barrage » qui se compose d'éléments de 4.50 m composés 5 compartiments de 900x900x900 mm avec une ossature en U sur chaque compartiment assurant le maintien de la géométrie rectangulaire

- Présence de 4 anses sur chaque compartiment pour levage facile après utilisation ;
- Matériaux : ossature : bois / géotextile : polypropylène revêtu d'une couche étanche en face amont.

Il existe différents produits. Les systèmes modulaires sont composés 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 adapté. Ce type de batardeau modulaire est plus facilement transportable.

Pour ce type de batardeaux modulaires, les hauteurs des éléments sont limitées. La hauteur des modules peut varier de 0.375 m à 0.75m. Les modules peuvent être empilés jusqu'à une hauteur de 2.5 m selon le fournisseur ESTHI.

L'entreprise ESTHI propose différents matériels qui se composent d'une membrane étanche armée remplissable facilement :



Figure 6-3 : Membrane étanche à remplir (ESTHI)

Ces structures d'une hauteur d'un mètre peuvent également s'empiler en pyramide pour atteindre une hauteur d'eau maximale de 2.5 m.

Ce type de batardeau n'est pas le plus adaptée pour la protection contre les inondations à montée rapide. En effet, la mise en œuvre de ces éléments nécessite une mobilisation importante de matériel, de matériau et de personnel pour des temps de mise en œuvre importantes.

L'étanchéité du système est principalement assurée par l'étanchéité des membranes et par gravité.

6.2 Temps de mise en œuvre

La mise en œuvre des batardeaux modulaires s'effectue de manière relativement simple. En effet, il suffit de les insérer les uns par rapports aux autres. Selon les modèles il existe des subtilités comme l'insertion de joints entre les éléments pour garantir une bonne étanchéité. Le temps de remplissage des modules est long. Il est indiqué dans la littérature que le montage d'une protection de 100 m de long, constitué d'un seul module (sans rehaussement) dure environ 4 heures. Il est nécessaire de prévoir une pelle mécanique ou une toupie malaxeuse pour mettre en place le matériel.



Figure 6-4 : Montage des batardeaux à membrane étanche (ESTHI)

6.3 Rehaussement

Pour les systèmes de remplissage avec une membrane étanche, il est possible d'obtenir des hauteurs de protection jusqu'à 2.5 m en forme pyramidale.

L'augmentation de la hauteur en service des éléments modulaires est possible en ajoutant d'autres éléments en portant une attention particulière à la stabilité. Il est important de réaliser une étude de stabilité initiale portant sur une hauteur maximale de protection, en prenant en compte une vitesse de courant.

Le système proposé par ESTHI peut également être composé d'éléments à superposer :



Figure 6-5 : Superposition des batardeaux à remplissage « rapiddam » (ESTHI)

6.4 Stockage

Pour les structures à membrane étanche, l'entreprise ESTHI présente une illustration montrant que 6 systèmes de dimensions L=120cm x l=100cm x H=110cm peuvent être stockés ou transportés sur une palette Europe standard.



Figure 6-6 : Stockage de système à membrane étanche (ESTHI)

Les batardeaux modulaires sont des éléments volumineux qui nécessitent d'avoir des locaux de stockage avec une grande emprise au sol. SOCOTEC Infrastructure a estimé que pour un système de protection de 100 m de long et de 1.0 m de haut, il est nécessaire de prévoir un stockage de 12.5 m² (hypothèse : batardeaux de L=1m H=1m l=0.5m).

6.5 Durée de vie

Les batardeaux à membrane sont censés être réutilisables.

6.6 Prix

La documentation d'ESTHI nous a permis d'obtenir un ordre de grandeur sur les prix de ces équipements. Elle indique que ces prix sont des estimations non contractuelles visant à établir des budgets de fourniture à l'attention principalement des bureaux d'étude, Maître d'ouvrage et donneurs d'ordre. Les prix excluent la pose, les notes de calcul et les petits accessoires optionnels :

Box Wall		Prix fourniture	Palette	Prix Transport
Hauteur protection (m)		0,5		
linéaire de protection (m)	10	1 740 €	1	400
	49	8 591 €	1	400
	195	31 216 €	4	600
	293	46 923 €	6	800

Tableau 6-1 : Prix estimatif entreprise ESTHI- BOX Wall

RapidDam MIL 3939		Prix fourniture	Palette	Prix Transport
Hauteur protection (m)		1		
linéaire de protection (m)	80	6 133 €	1	400 €
	320	24 532 €	4	600 €
	480	36 798 €	6	600 €
	2400	183 988 €	30	1 200 €

Tableau 6-2 : Prix estimatif entreprise ESTHI- RapidDam

6.7 Récapitulatif

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Mise en place longue – de l'ordre de 2 h pour une portée de 16 m, équipe de 3 ou 4 personnes
Transport facile	Nécessite des moyens important (toupies, pelle hydraulique…)
Installation par une équipe de 3 à 4 personnes	Faible résistance mécanique au poinçonnement
Hauteur de protection importante	Durée de vie inconnue
Faible coût (80 € à 200 €/ml)	

Tableau 6-3 : Avantages/Inconvénients des protections par remplissage de batardeaux

L'avantage de ce système est son prix particulièrement attractif. Le fournisseur ESTHI indique que le temps de mise en œuvre de 100 ml de protection avec deux personnes est de 4 h. La hauteur maximale est de 2.5 m en pyramide.

Il est important de signaler que ces éléments ne sont pas censés être réutilisable.

Hauteur de protection standard	Longueur des éléments	Emprise au sol	Coût matériel (fourchettes €/m)	Moyens humains et matériels nécessaires	Temps de mise en œuvre
1m	1m	1m	80 à 200 €/ml	1 à 2 personnes + moyens mécaniques (pelle, toupie)	4 h pour 100 m

7 SOLUTION 6 : STRUCTURES COMPOSEES D'ELEMENTS RIGIDES AUTO-STABLES

7.1 Description

Il s'agit d'une barrière de protection constituée d'un encastrement d'éléments en « L » dont la base assure l'auto-stabilité du dispositif.
Une barrière autostable est constituée de plusieurs sections en « L » raccordées les unes aux autres et facilement manipulables.
Une pince spéciale assure une fixation mécanique des sections au niveau de leur jonction.
Chacune des sections est constituée :

- d'une partie barrière (la paroi arrière) ;
- d'une partie ancrage (la partie horizontale qui repose sur le sol) ;
- d'une partie scellement (le bord amont de la partie horizontale).

Des bandes de joint de mousse viennent réaliser l'étanchéité sous les bords avant et latéraux.

Chaque section est également pourvue de quelques semelles en caoutchouc expansé qui donnent une bonne adhérence au sol.

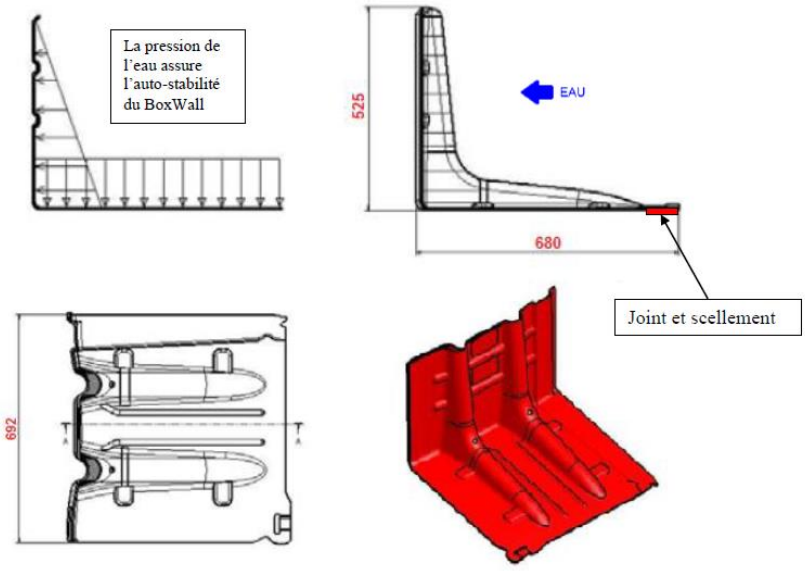


Figure 7-1 : Batardeau autostable Box Wall (ESTHI)

La connexion des éléments aux extrémités s'effectue par des pièces métalliques de jonction, Une bande mousse adhésive de 30 mm par 15 mm d'épaisseur doit être fixée sur la pièce métallique de jonction pour limiter le ruissèlement entre la pièce métallique et le mur.
Elle permet également l'ajustement en hauteur (passage de trottoir) et l'ajustement de la longueur du mur.

Le principal inconvénient de ce type de solution est la hauteur de protections limitées à 50 cm, car il existe une seule hauteur de produit. Néanmoins le dispositif est performant et économique pour des hauteurs d'inondations < 50 cm.

La longueur d'un élément est de 750 mm pour un poids de 3.5 kg par élément.

7.1.1 Structure

Les structures qui composent cet équipement sont en Thermo plastique type ABS, Elles assurent une hauteur de protection maximale de 0.5 m. Elles ne peuvent pas résister aux embâcles ni aux courants.

7.1.2 Fixation aux extrémités

Cet équipement est fixé à l'aide d'une platine en PVC ou en acier inoxydable ancrée à une paroi. L'étanchéité est assurée par un joint.



Figure 7-2 : Fixation aux extrémités avec joint d'étanchéité

7.2 Temps d'installation et mise en œuvre

D'après le constructeur ESTHI, l'installation de ce produit est très rapide. Il est possible d'installer 100 m à deux personnes en 50 minutes. La procédure d'installation est la suivante :

1) Le sol doit être nettoyé de toutes les impuretés (caillou, sable, etc…) ;

2) La partie horizontale doit faire face à l'eau ;

3) Les connexion des éléments s'effectuent entre eux sur la partie avant et sur la partie haute de la section



Figure 7-3 : Connections (ESTHI)

4) Verrouillage des batardeaux à l'aide de la pince



Figure 7-4 : Verrouillage (ESTHI)

5) L'extrémité du Batardeau doit être supportée par l'arrière par une paroi ou un élément gravitaire qui servira d'ancrage et évitera une rupture par infiltration.



Figure 7-5 : Support gravitaire (ESTHI)

7.3 Rehaussement

Le batardeau est constitué d'un seul bloc. De ce fait, il est peu concevable de pouvoir y installer des rehausses.

7.4 Stockage

Le stockage des éléments est optimisé par le fait que leur empilement est rendu possible par leur géométrie. Un stockage de 10 m² est suffisant pour une barrière de 100 m.

16 mètres de mur peuvent être placés sur une palette standard de 800x1200 mm et 572 boîtes (un peu plus de 350 mètres) peuvent être mises dans un conteneur EVP.



Figure 7-6 : Stockage des éléments auto-stable

7.5 Durée de vie

Les éléments peuvent être réutilisés entre 10 et 15 fois selon le fournisseur. L'avantage est que les éléments sont facilement remplaçables.

7.6 Prix

La documentation d'ESTHI nous a permis de connaître un ordre d'idée sur les prix de ces équipements. L'entreprise indique que ces prix sont des estimations non contractuelles visant à établir des budgets de fourniture à l'attention principalement des bureaux d'étude / Maître d'ouvrage et donneurs d'ordre. Les prix excluent la pose / les notes de calcul / les petits accessoires optionnels :

Box Wall		Prix fourniture	Palette	Prix Transport
Hauteur protection (m)		0,5		
linéaire de protection (m)	10	1 740 €	1	400
	49	8 591 €	1	400
	195	31 216 €	4	600
	293	46 923 €	6	800

Tableau 7-1 : Prix indicatif fourni par ESTHI

7.7 Récapitulatif

Avantages	**Inconvénients**
Légers	Faible hauteur de protection
Temps de mise en œuvre faible	Seulement efficace sur un sol plat, propre, etc.
Stockage facile	Pas de rehaussement
Coût 200 € / mL	
Transport facile	
Installation par une équipe de 2 personnes	

Tableau 7-2 : Avantages/Inconvénients des batardeaux autostables

L'avantage de ce système est son prix particulièrement attractif. Le fournisseur ESTHI indique que le temps de mise en œuvre de 100 ml de protection avec deux personnes et de 50 min.

Il est important de signaler que la hauteur maximale est de 500 mm pour des sols sans irrégularité.

Hauteur de protection standard	Longueur des éléments	Emprise au sol	Coût matériel (fourchettes €/ m)	Moyens humains et matériels nécessaires	Temps de mise en œuvre
0.5	0.75m	0.68	200 €/ml	1 à 2 personnes	1 h pour 100 m

8 SOLUTIONS MIXTES

8.1 Batardeaux inclinés – Batardeaux à ancrages

Les fournisseurs Aqua-Barrière et EKO-SYSTEME se sont déjà associés pour réaliser un système mixte (exemple : protection du siège de la RATP à Paris). Le système d'Aqua-Barrière nécessite un système d'ancrage aux murs latéraux afin d'assurer la stabilité et l'étanchéité du système. En installant un système de batardage traditionnel en aluminium sur les murs latéraux, il est aisé d'obtenir d'une longueur suffisante pour ancrer les Aqua-Barrière :

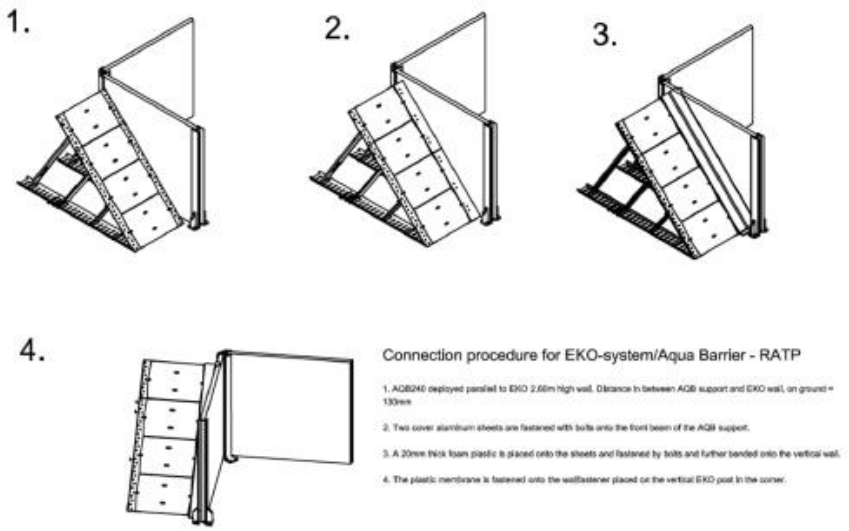


Figure 8-1 : Mise en œuvre d'un système mixte

Cette solution a été mise en œuvre pour l'installation anti-inondation de l'AFD à Paris. Le système batardeau avec ancrage sert de support pour l'installation des systèmes inclinés aquabarrière:



Figure 8-2 : Installation mixte système incliné, système à planchette (ksystem/système à planchette)

On en déduit que pour chaque type de batardeaux, il existe un système permettant de créer un ancrage fixe sur lequel d'autres systèmes peuvent venir s'appuyer.

Autre exemple de réalisation mixte celle déployée par la ville de Besançon fixant les structures à membrane (gonflable ou membranaire) à des parois fixes (batardeaux à planchettes).

9 RECAPITULATIF

9.1 Notation des solutions

Afin d'évaluer au mieux l'intérêt et la pertinence des différentes solutions techniques en fonction de leurs caractéristiques et de leur utilisation, il a été choisi de réaliser un comparatif présenté selon les hauteurs d'eau de protection envisagées. Ainsi nous avons réalisé ce comparatif selon les hauteurs inférieures à 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m et 2.0 m et supérieures à 2.0 m.

Le système de notation est le suivant :

- [1] très satisfaisant ;
- [2] satisfaisant ;
- [3] moyennement satisfaisant ;
- [4] peu satisfaisant ;
- [5] pas satisfaisant.

Sont présentées en vert les solutions les plus satisfaisantes et les rouge les moins satisfaisantes.

Hauteur <0.5m :

	Mise en Œuvre					Prix		Gestion et qualités				Note
	Temps de mise en œuvre	Simplicité de mise en œuvre	Emprise au sol	Adaptation à tous les sols	Hauteur adaptée	Cout d'installation	Cout au m/l	Maintenance	Stockage	Durabilité	Résistance (vitesse, embâcles)	Moyenne
Solution 1 : batardeau à planche	3	2	2	5	1	4	5	3	3	1	1	2.7
Solution 2 : batardeaux inclinés	4	3	3	2	2	4	5	2	2	2	1	2.67
Solution 3 : batardeaux membranaires	2	2	4	1	1	2	2	2	1	2	3	2.0
Solution 4 : Batardeaux gonflables	2	2	2	2	1	2	1	3	2	2	4	2.1
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	3	3	3	5	2	4	1	3	2	4	3	3.0
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	1	2	3	5	1	1	1	1	2	3	3	2.7

Tableau 9-1 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour H < 0.5 m

Hauteur <1.0m :

	Mise en Œuvre					Prix		Gestion et qualités				Note
	Temps de mise en œuvre	Simplicité de mise en œuvre	Emprise au sol	Adaptation à tous les sols	Hauteur adaptée	Cout d'installation	Cout au m/l	Maintenance	Stockage	Durabilité	Résistance (vitesse, embâcles)	Moyenne
Solution 1 : batardeau à planche	3	3	2	5	1	4	5	3	3	1	1	2.8
Solution 2 : batardeaux inclinés	3	3	3	2	1	3	4	2	2	2	1	2.3
Solution 3 batardeaux membranaires	2	2	4	1	1	2	2	2	1	2	3	2.0
Solution 4 Batardeaux gonflables	2	2	2	2	1	2	1	3	1	3	4	2.1
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	3	3	3	5	2	4	1	3	2	4	3	3.0
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	Inadapté											-

Tableau 9-2 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 0.5 < H < 1.0 m

Hauteur <1.5m :

	Mise en Œuvre					Prix		Gestion et qualités				Note
	Temps de mise en œuvre	Simplicité de mise en œuvre	Emprise au sol	Adaptation à tous les sols	Hauteur adaptée	Cout d'installation	Cout au m/l	Maintenance	Stockage	Durabilité	Résistance (vitesse, embâcles)	Moyenne
Solution 1 : batardeau à planche	2	2	2	5	1	4	5	3	3	1	1	2.6
Solution 2 : batardeaux inclinés	2	2	2	2	1	4	4	2	2	2	1	2.1
Solution 3 batardeaux membranaires	1	1	3	1	1	2	2	2	1	2	3	1.7
Solution 4 Batardeaux gonflables	1	1	2	2	1	2	1	3	1	2	4	1.8
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	3	3	3	5	4	4	1	3	2	4	3	3.2
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	Inadapté											-

Tableau 9-3 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 1.0 < H < 1.5 m

Hauteur <2.0m :

	Mise en Œuvre					Prix		Gestion et qualités				Note
	Temps de mise en œuvre	Simplicité de mise en œuvre	Emprise au sol	Adaptation à tous les sols	Hauteur adaptée	Cout d'installation	Cout au m/l	Maintenance	Stockage	Durabilité	Résistance (vitesse, embâcles)	Moyenne
Solution 1 : batardeau à planche	4	2	2	5	1	4	5	3	3	1	1	2.8
Solution 2 : batardeaux inclinés	3	2	2	1	2	4	4	2	2	2	1	2.3
Solution 3 batardeaux membranaires	2	1	4	1	3	2	2	2	1	2	3	2.1
Solution 4 Batardeaux gonflables	1	2	3	2	3	2	1	3	1	2	4	2.2
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	3	2	2	2	2	2	2	5	1	5	3	2.6
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	Inadapté											

Tableau 9-4 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour 1.5 < H < 2.0 m

Hauteur >2.0m :

	Mise en Œuvre					Prix		Gestion et qualités)				Note
	Temps de mise en œuvre	Simplicité de mise en œuvre	Emprise au sol	Adaptation à tous les sols	Hauteur adaptée	Cout d'installation	Cout au m/l	Maintenance	Stockage	Durabilité	Résistance (vitesse, embâcles)	Moyenne
Solution 1 : batardeau à planche	4	3	1	1	1	4	5	3	3	1	1	2.5
Solution 2 : batardeaux inclinés	3	3	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2.3
Solution 3 batardeaux membranaires	Inadapté											
Solution 4 Batardeaux gonflables	Inadapté											
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	Inadapté											
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	3	2	2	2	2	3	2	5	1	5	3	2.7
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	Inadapté											

Tableau 9-5 : Comparaison des 6 solutions de batardage pour H > 2.0 m

9.2 Prix des solutions par Mètre linéaire

Le tableau suivant est un récapitulatif des prix de fourniture par mètre linéaire, les prix sont basés sur les différents retours des fournisseurs et des maître d'ouvrage.

	H<0.5m	0.50m<H<1.00m	1.00m<H<1.50m	1.50m<H<2.00m	H>2.00m
Solution 1 : batardeau à planche	700€	1000€	1500€	3000€	4000€
Solution 2 : batardeaux inclinés	500€	500€	800€	1000€	1000€
Solution 3 batardeaux membranaires	450€	450€	500€	700€	Pas disponible
Solution 4 Batardeaux gonflables	250€	250€	300€	350€	Pas disponible
Solution 5 : Protection par remplissage de batardeaux	200€	500€	1000€	Pas d'information	Pas disponible
Solution 6 : Batardeau auto-stable.	200€	Pas disponible	Pas disponible	Pas disponible	Pas disponible

Tableau 9-6 : Prix des solutions par Mètre linéaire

9.3 Récapitulatif des solutions préconisées

Les différentes solutions présentées dans les parties précédentes possèdent chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

De manière générale, les solutions peu onéreuses permettront une installation rapide de la protection pour des hauteurs comprises entre 0.5m et 1.5m. Ces solutions ne permettront pas d'assurer une protection optimale en cas de forts courants. De plus les solutions légères sont principalement constituées de membrane en polymère, qui n'assure pas une résistance aux poinçonnements suffisante pour résister aux embâcles.

Les solutions rigides sont beaucoup plus onéreuses mais résisteront mieux aux inondations et ont une durée de vie plus importante. Le design de ces structures et son déploiement sont à réaliser par des bureaux d'études et à vérifier par notes de calcul. De ce fait, les structures rigides seront aptes à reprendre les charges qui auront été prévues au dimensionnement initiales et permettront de se protéger de manière plus pérenne face aux inondations.

Le paragraphe suivant est un classement des 4 meilleures solutions les plus pérennes et les plus sécuritaires selon SOCOTEC Infrastructure.

9.3.1 Solution 1 : digue amovible avec ancrage

Les poutres sont empilées les unes au-dessus des autres entre deux poteaux intermédiaires en forme de H jusqu'à boucher toute la passe. Les poteaux sont le plus souvent logés dans des réservations dans le radier. Ces appuis sont constitués de poutrelles aluminium espacées de 3 maximums pour une hauteur d'eau de 2 m.

Grâce à un système de joint d'étanchéité et de 2 étriers de compression boulonnés sur l'élément supérieur, le débit de fuite est extrêmement limité.

Ces solutions sont très onéreuse (de 3000 € à 7000 €/ml) car elles nécessitent des travaux de génie civil et l'intervention de bureaux d'études.



Figure 9-1 : Mise en œuvre d'une solution DIGUES AMOVIBLES AVEC ANCRAGE

9.3.2 Solution 2 : structures rigides inclinées

Ce système de protection est composé de structures métalliques assurant la résistance aux pressions. Cette solution peut éventuellement supporter une membrane imperméable.

La structure est composée de plusieurs parties. Une première partie est composée d'un tablier ou d'une planche qui repose sur un socle qui permet de répartir les charges de manière uniforme dans la structure métallique. Cette structure est inclinée de telle manière à reprendre le plus de chargement. La stabilité de l'inclinaison est assurée par des appuis répartis sur le sol.

La pression de l'eau sur la membrane étanche permet de s'affranchir des problématiques de surface. Il est donc possible d'installer la structure inclinée sur des sols abrupts et accidentés.

Ces solutions sont moins onéreuses que la précédente (de 500 € à 1000 €/ml), elles nécessitent toutefois l'intervention de bureaux d'études pour valider le dimensionnement des parties métalliques.



Figure 9-2 : Mise en œuvre d'une solution STRUCTURES RIGIDES INCLINEES

9.3.3 Solution 3 : structures souples inclinées sans ancrage

Le système membranaire est constitué de membranes en polymère, tissées entre elle de manière à créer des caissons. La pression de l'eau fait ouvrir la barrière en soulevant la toile supérieure. Cette pression d'eau fait en sorte que la barrière prenne la forme du terrain. La barrière peut assurer jusqu'à 2 mètres de hauteur de retenue.

La conception du batardeau membranaire, dans un rapport hauteur largeur de 1 à 4, assure une parfaite stabilité et adhérence à tout type de sols. Les fournisseurs garantissent une résistance aux chocs d'embâcles et aux courants. Ce point doit faire l'objet d'une attention particulière lors de l'établissement des projets.

Ces solutions sont moins onéreuses que la précédente (de 500 € à 700 €/ml).



Figure 9-3 : mise en œuvre de la protection STRUCTURES SOUPLES INCLINEES SANS ANCRAGE

9.3.4 Solution 4 : structure gonflable

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. Le barrage

est constitué de tubes en plastique renforcé qui sont reliés les uns aux autres pour former une barrière de protection temporaire.

Les membranes en polymère ont une faible résistance aux poinçonnements et présentent donc une faible résistance aux embâcles. Il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable.



Figure 9-4 : Mise en œuvre de la protection STRUCTURE GONFLABLE

10 CONCLUSION

SOCOTEC Infrastructure a comparé l'ensemble des systèmes de batardage amovibles innovants existant sur le marché. Certains systèmes présentent des caractéristiques de pose intéressantes mais ne semblent pas répondre à une haute qualité d'installation. D'autres systèmes nécessitent de lourdes modifications de l'environnement et des coûts d'installation importants.

Ainsi, sur les critères que nous avons sélectionnés au vue de la visite, il s'avère que tous les types de systèmes de protection obtiennent une note comprise entre 2 et 3. Afin d'affiner cette notation il sera nécessaire de réaliser des études de conception détaillées (AVP, PRO).

Pour résumer, deux systèmes se détachent par leur simplicité et leur rapidité de mise en œuvre : les structures gonflables et les membranes auto stables.

Les systèmes utilisés (membrane plastique) permettent d'obtenir une protection fiable pour un coût assez réduit (de 200 à 500 €/ml). Néanmoins ces protections ne sont pas optimales pour les zones qui subissent de fortes vitesses transversales et où le cours d'eau charrie des embâcles.

Pour les hauteurs de plus de 1.80 m les systèmes solides de type à planchette ou inclinés seront préférés moyennant un coût plus important (800 € à 7 000 €/ml).

Il est recommandé de conduire une analyse plus détaillée des besoins en fonction des contraintes des territoires sensibles à protéger. Cette analyse fera l'objet d'un second rapport permettant d'identifier les solutions de batardage optimales en fonction des caractéristiques de chaque site présélectionné avec les collectivités volontaires concernées sur le bassin fluvial. Cette analyse permettra par ailleurs de préciser les solutions techniques, les coûts ainsi que les temps d'installation de manière plus précise.

11 RETOUR D'EXPERIENCE

SOCOTEC Infrastructure a mené une campagne d'information afin de déterminer la satisfaction des gestionnaires de batardeaux amovibles. Pour les 4 premières solutions, nous nous sommes rapprochés d'au moins 2 maîtres d'ouvrages. Pour les deux dernières solutions, nous n'avons pas trouvé de gestionnaire.

Un questionnaire leur a été envoyé suite à la validation de l'EP Loire. Ce questionnaire porte sur des points techniques, financiers, maintenance et qualité, (satisfaction client, efficacité du dispositif, nombre de crues rencontrées, coût réel de mise en œuvre, coût de maintenance, mise en œuvre, stockage…).

SOCOTEC infrastructure a réalisé une campagne de recherche auprès de nombreuses collectivités ou entreprises ayant mis en place des protections amovibles de lutte contre les inondations.

11.1 Ville de Besançon

La ville a opté pour plusieurs types de structures afin de se prémunir du risque d'inondation. Une grande partie du linéaire protégé est composée de structures rigides. Cette solution a été choisie pour assurer une protection maximale compte tenu des grandes vitesses et des hauteurs d'eau importantes.

La ville a également fait le choix d'une structure souple inclinée sans ancrage. Cette solution a été adoptée afin de remplir au mieux les conditions de sites particulières. En effet au droit d'un pont existe un point bas qui constitue un cheminement hydraulique privilégié.

La protection est étudiée pour une inondation correspondant à une crue centennale avec un débit de Q=1730m^3/s pour une hauteur de protection maximal de 0.7m. La longueur équipée est de 15m. La durée de vie est estimée à 20 ans avec 2 à 3 utilisations par an.

D'après ce retour d'expérience, le barrage mobile est tenu latéralement par des batardeaux amovibles ancrés au sol. Les batardeaux latéraux ont nécessité des fondations génie civil, des rainures et des ancrages dans les parois existantes.

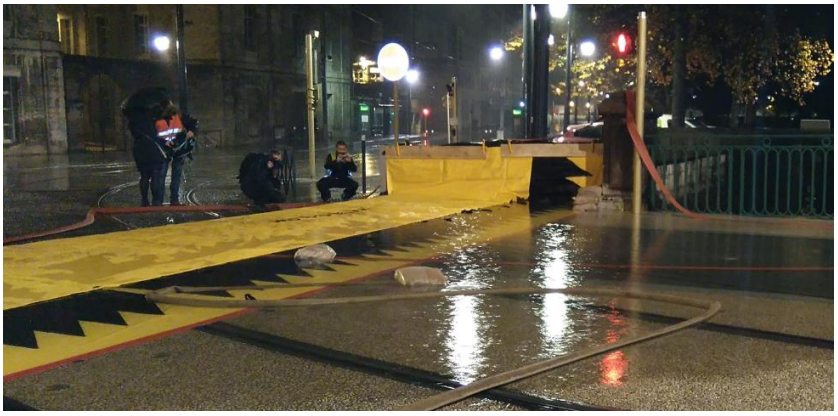


Figure 11-1 : Déploiement du système Watergate à Besançon

Les études réalisées par le bureau d'étude concernaient :

- Résistance mécanique du batardeau (ancrages, renversement, poinçonnement…) ;
- Adaptations du génie civil (ancrages, rainures…) ;
- Etude de rupture (l'onde de submersion).

Il n'y a pas eu de dimensionnement aux embâcles car le dispositif est déporté par rapport au flux de la rivière.

La stabilité au glissement et au renversement du barrage mobile ont été étudiées pour s'assurer de la viabilité du système. La résistance mécanique des ancrages et du batardeau, les études hydrauliques et étude de danger ont été confiées à un autre bureau.

La ville de Besançon a indiqué que le barrage mobile a été testé en remplissage sur banc d'essai et a montré une bonne étanchéité. Il y a également eu un test en conditions réelles (mais hors crue) sur ouvrage à protéger avec remplissage partiel par pompe. Il nécessite des exercices annuels pour conserver la maîtrise du processus montage.

Les limites du système selon la ville résident dans la nécessité d'une certaine rugosité du sol support pour assurer la stabilité.

Le prix de la fourniture du barrage mobile est de 10 000€, les batardeaux latéraux 8 000 € et les travaux d'adaptation pour les batardeaux d'adaptation sont estimés à 11 000€ soit 690 €/ml.

11.2 Ville de Givet

La ville a opté pour un système composé de structures rigides afin de se prémunir des risques d'inondation. Cette solution a été choisie pour assurer une protection maximale compte tenu des grandes vitesses et des hauteurs d'eau importantes.

Une partie de la protection est fixe et répond à une hauteur de protection pour des crues vicennales (Q20). La protection amovible qui vient surélever le mur est étudiée pour une inondation centennale avec une revanche de 77 cm (correspondant à une crue avec un débit de Q=1540m^3/s), pour une hauteur de protection maximale de 3.4 m. La longueur équipée est de 2400 m. L'espacement entre les poteaux est de 3.0 m. La durée de vie est estimée par le gestionnaire à 20 ans.

La mise en œuvre de la structure nécessite la mobilisation de 25 à 35 personnes avec de l'outillage spécifique, des moyens de transports par poids lourd et des moyens de levage.



Figure 11-2 : Déploiement du système batardeaux rigide à Givet

D'après ce retour d'expérience, le barrage mobile est constitué de poteaux, jambes de force et poutrelles sur un muret ou directement au sol. Les ouvrages ont nécessité la création de fondations génie civil et de paroi béton armé. Des platines d'ancrage au sol ou aux murets ont été installées.

Les batardeaux latéraux ont nécessité des fondations génie civil, des rainures et des ancrages dans les parois existantes.

Les études réalisées par le bureau d'étude concernaient :

- la résistance mécanique du batardeau (ancrages, renversement, poinçonnement…) ;
- Adaptations du génie civil (ancrages, rainures…) ;
- Etude de rupture (l'onde de submersion).

Le processus de conception et de mise en œuvre correspond aux phases normales d'un projet de construction comprenant les études de conception, de maîtrise d'œuvre de construction et des études loi sur l'eau.

Les principales contraintes résident dans la procédure de pose pour les éléments les plus lourds vis-à-vis de la sécurité des agents.

Le protocole de déploiement est assuré par une veille des débits/hauteurs de la Meuse et de ses affluents sur les bassins versants. Le déclenchement se fait en trois phases de poses suivant 3 seuils de débit. La première phase de pose dure 24 h, la seconde 48 h et la troisième 72 h. Il est donc nécessaire d'avoir de grands moyens humains à dispositions.

La vérification de la résistance mécanique des ancrages et du batardeau, les études hydrauliques et étude de danger ont été confiées à un prestataire privé.

L'ouvrage est à considérer comme un système d'endiguement. Le gestionnaire de l'ouvrage est la collectivité ayant la compétence GEMAPI. Il existe un lien étroit entre le commune et le syndicat des eaux afin d'assurer que la gestion de crise soit respecté.

La ville de Givet a indiqué que le barrage mobile nécessite un entretien particulier, notamment des joints en mousse afin de garantir la longévité de l'ouvrage.

Le prix de la fourniture du barrage mobile est de 8 971 000€, l'ensemble des études ont couté 500 000 €. (La création de la protection fait partie d'un programme global de travaux de réseaux, poste de pompage, dragage, comportement de remblai pour

un coup de travaux de 21 M € TTC et d'étude de 1 M€). La commune de Givet est satisfaite de ce système de protection.

11.3 Ville de Louvigny

Le Syndicat mixte de lutte contre les inondations de la vallée de l'Orne a opté pour une structure inclinée sans ancrage afin de se prémunir des risques d'inondation. Cette solution a été choisie pour un déploiement rapide et une protection maximale compte tenu des vitesses et des hauteurs d'eau importantes.

Une partie de la protection est fixe et répond à une hauteur de protection comprise entre le niveau d'une crue décennale (Q10) et une inondation centennale (correspondant à une crue avec un débit de Q=625m^3/s), pour une hauteur de protection maximale de 1.5 m. La longueur équipée est de 400 m. L'espacement des poteaux est de 1.20 m. La durée de vie est estimée par le gestionnaire à 20 ans.

La mise en œuvre de la structure nécessite la mobilisation de 10 à 20 personnes avec de l'outillage spécifique, des moyens de transports par poids lourd et des moyens de levage.

Le syndicat indique que le montage est réalisé par un groupement d'entreprises locales dans le cadre d'un marché à bons de commande. Une procédure est mise en place. Elle prévoit le déclenchement de l'astreinte des équipes de montage à partir d'une cote de niveau d'eau à l'amont de l'agglomération caennaise. Puis le montage est déclenché lorsqu'une cote supérieure et définie dans cette procédure est dépassée, sous réserve que les conditions météo soient défavorables.



Figure 11-3 : Déploiement du système batardeaux rigide à Givet

D'après le retour d'expérience le barrage mobile est constitué châssis métallique, plaques de contre-plaqué, bâches étanches lestées par des chaines.

Le prix de la fourniture du barrage mobile est de 250 000 €. Depuis 2003 le syndicat a dû investir 62 000 € TTC pour des adaptations et renouvellement de pièces (bâches, épingles, goupilles, etc.). Le coût d'un montage est 50 000 €.

11.4 Bâtiment de l'Agence Française de Développement

L'AFD a choisi une structure inclinée rigide sans ancrage afin de se prémunir des risques d'inondation de la Seine vis-à-vis de son bâtiment. Cette solution a été choisie du fait d'un déploiement rapide et d'une protection maximale compte tenu des hauteurs d'eau au droit de l'ouvrage et de l'étanchéité qu'apporte la solution.

Le bâtiment de l'AFD est localisé dans Paris à proximité de la gare de Lyon et est situé à environ 600m de la Seine.

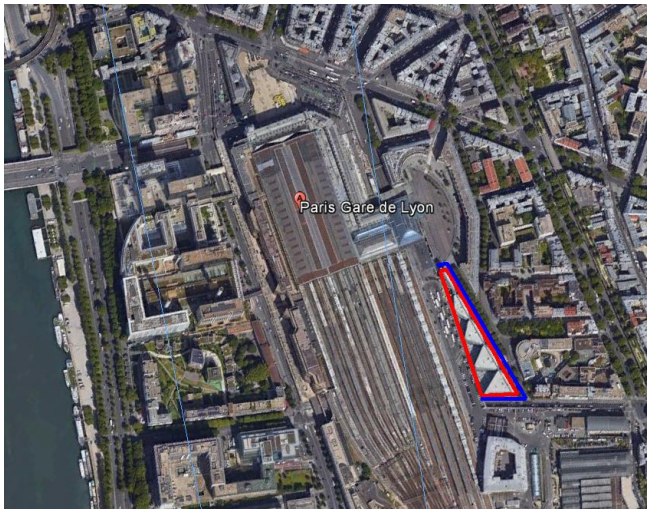


Figure 11-4 : Localisation du bâtiment AFD (en rouge), implantation de la solution (en bleu)

La cinétique de l'inondation du bâtiment est particulière. D'une part, lors d'une crue, le niveau de la nappe phréatique augmente d'environ 2.50m. Cette augmentation de niveau entraine une augmentation de pression dans le radier du bâtiment situé au niveau -3 (parking). Afin d'éviter un soulèvement de celui-ci qui entrainerai l'instabilité du bâtiment, des seuils d'alertes sont mis en place et sont suivis à l'aide de tubes piézométriques. Passé un seuil critique la nappe phréatique se déverse dans le parking au niveau -3 pour équilibrer les sous-pressions. Afin d'éviter l'inondation total du parking, une évacuation de l'eau est réalisée par pompage vers l'extérieur.

D'autre part l'inondation de la Seine contourne le bâtiment par le tunnel d'accès aux parkings de la gare de Lyon. Le niveau augmente et entraine un impact sur le bâtiment de l'AFD. Le terrain étant en pente, le début de la protection à une hauteur d'environ 2.00m avec une protection en batardeaux à planchette (au niveau de l'entrée du tunnel) sur 20m de long, puis la solution des batardeaux inclinés est choisie avec une hauteur de 1.50m jusqu'à une hauteur d'environ 0.75 cm au niveau de la place Henry Frenay.

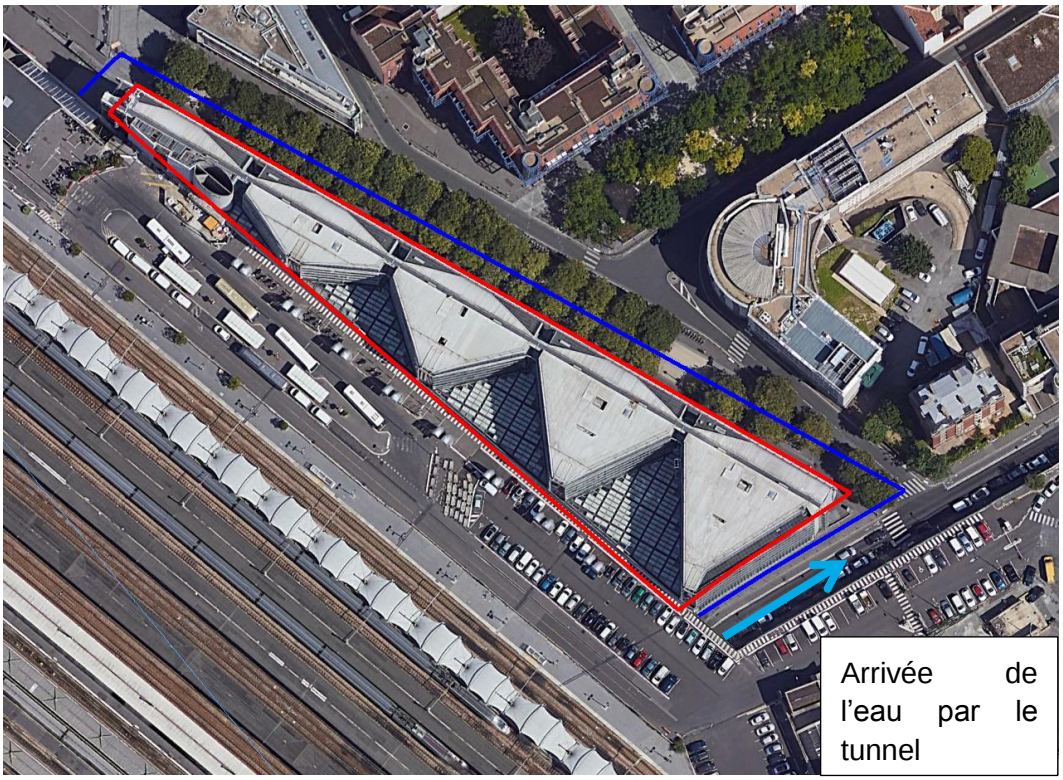


Figure 11-5Localisation du bâtiment AFD (en rouge), implantation de la solution (en bleu), cinétique de l'inondation (flèche bleu)

La protection est située juste en amont des bouches d'aération du bâtiment.



Figure 11-6 : Aération en aval du système de protection

La hauteur de protection correspond à la crue historique de 1910 pour une hauteur de protection maximale de 2.0 m. La longueur équipée est de 200 m. L'espacement des poteaux est de 1.50 m. Le système n'est pas ancré aux sols. L'étanchéité au niveau du sol est assurée par un joint, voire par une bâche complémentaire. L'étanchéité de la protection est assurée par des étriers de compression boulonnés. La jonction aux murs est assurée par des batardeaux à planchettes qui sont fixés aux parois à l'aide d'ancrage.



Figure 11-7 : Fixation du batardeau à l'existant- bâtiment AFD

La mise en œuvre de la structure nécessite la mobilisation de 12 personnes avec de l'outillage spécifique, des moyens de transports par transpalette. Le montage en condition optimale a duré 6h. Le montage est assuré par l'entreprise qui est en charge de la maintenance du bâtiment.

La mise en œuvre de la solution est intégrée dans leur contrat de maintenance et comprend un montage annuel pour test.



Figure 11-8 : Système de protection

Les limites du système, le prix et les documents réglementaires qu'impliquent la structure n'ont pas été fournis.

12 ANNEXES

Annexes fournies séparément de ce rapport

Liste des annexes

12.1 Estimation_prix_ESTHI

12.2 Références

12.2.1 Digues amovibles avec ancrage
12.2.2 Structures rigides inclinées sans ancrage
12.2.3 Structures souples inclinées sans ancrage
12.2.4 Structure gonflable
12.2.5 Protection par remplissage de batardeaux
12.2.6 Structures rigides auto-stables
12.2.7 ESTHI_multi_produit

12.3 Retour d'expérience

12.3.1 Besançon
12.3.2 Caen
12.3.3 Givet

1 ANNEXES

Liste des annexes

1.1 Estimation_prix_ESTHI

1.2 Références

1.2.1 Digues amovibles avec ancrage
1.2.2 Structures rigides inclinées sans ancrage
1.2.3 Structures souples inclinées sans ancrage
1.2.4 Structure gonflable
1.2.5 Protection par remplissage de batardeaux
1.2.6 Structures rigides auto-stables
1.2.7 ESTHI_multi_produit

1.3 Retour d’expérience

1.3.1 Besançon
1.3.2 Caen
1.3.3 Givet