voies navigables de France

direction de l'Infrastructure, de l'Eau et de l'Environnement

guide

GUIDE

Barrages gonflables avec ou sans volets métalliques

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

cetmef

Nom du barrage des photos de la couverture de gauche à droite :
AUXONNE, MAJDICEV LOG, BANNETZE, BANNETZE.

Nom du barrage des photos de la 4ème couverture de gauche à droite :
PISTOIA, GAPEAU.

SOMMAIRE

Préambule **1**

1. Présentation générale **3**

1.1 Définitions **3**

1.1.1 Le barrage gonflable 3

1.1.2 Le barrage gonflable à volets métalliques 4

1.2 Définitions des dimensions utiles **5**

1.2.1 Le barrage gonflable 5

1.2.2 Le barrage gonflable à volets métalliques 6

2. Domaine d'application **7**

2.1 Rappel du domaine d'application considéré **7**

2.2 Détermination des dimensions utiles des passes projetées **7**

2.3 Applications dimensionnelles existantes **8**

2.3.1 Barrage gonflable 8

2.3.2 Barrage gonflable à volets métalliques 9

3. Critères à prendre en compte pour la conception du barrage gonflable avec ou sans volets métalliques **10**

3.1 Conditions hydrauliques **10**

3.1.1 Charges hydrauliques 10

3.1.2 Capacité de régulation et d'effacement en cas de crue 10

3.1.3 Précision de régulation 12

3.2 Conditions climatiques **13**

3.2.1 Glace et gel 13

3.2.2 Vent 14

3.2.3 Neige 14

3.2.4 Variation de température 14

3.2.5 Ozone/UV 14

3.3 Critères environnementaux **15**

3.3.1 Sédiments 15

3.3.2 Embâcles 15

3.3.3 Continuité piscicole 16

3.3.4 Oxygénation de l'eau 16

3.3.5 Pollution de l'eau 16

3.4 Risque de vandalisme **17**

3.5 Séisme **17**

3.6 Micro-centrale **17**

4. Éléments technologiques propres aux barrages gonflables avec ou sans volets métalliques **18**

4.1 Membrane **18**

4.1.1 Constitution 18

4.1.2 Fabrication 19

4.1.3 Elastomère 20

4.1.4 Polymère 20

4.1.5 Éléments de dimensionnement des membranes de barrage gonflable 20

4.2 Interface avec le génie civil **24**
4.2.1 Radier 24
4.2.2 Piles 25
4.2.3 Ancrage 26
4.2.4 Fosse de dissipation 27
4.3 Gonflage / Dégonflage **28**
4.3.1 Air 28
4.3.2 Eau 30
4.3.3 Air/Eau 32
4.4 Les spécificités du Barrage Gonflable à Volets Métalliques **33**
4.4.1 Cas de volets manœuvrés par des coussins indépendants 34
4.4.2 Cas de volets manœuvrés par un unique coussin 35
4.5 Adaptation du génie civil existant **36**

5. Dispositions constructives particulières 38
5.1 Mise en œuvre de déflecteurs **38**
5.1.1 BG gonflé à l'air 38
5.1.2 BG gonflé à l'eau 41
5.1.3 BGVM 41
5.2 Dispositifs de sécurité de fonctionnement **42**
5.3 Dispositifs pour l'exploitation **43**
5.3.1 Capteurs 43
5.3.2 Système de purge 44
5.3.3 Temps de gonflage/dégonflage 45
5.3.4 Passerelle d'exploitation 45
5.4 Dispositions pour la maintenance **46**
5.4.1 Opérations courantes de maintenance préventive 46
5.4.2 Réparation d'une membrane 47
5.4.3 Renouvellement d'une membrane 48

6. Évaluation des coûts 49
6.1 Comparatif des coûts de fourniture et pose des bouchures gonflables **49**
6.2 Part des équipements dans le coût global de construction **50**
6.3 Notions sur les coûts de fonctionnement et de maintenance **51**

7. Analyse multicritère vis-à-vis des besoins, contraintes et exigences du Maitre d'Ouvrage 52
7.1 Hydraulique **53**
7.2 Contraintes **54**
7.3 Exploitation/Maintenance **55**
7.4 Coûts **56**

Glossaire 57

Remerciements 60

ANNEXES (sur format CD)

- **ANNEXE 1 :** Bibliographie
- **ANNEXE 2 :** Retour d'expérience sur des ouvrages réalisés (benchmark)
- **ANNEXE 3 :** Analyses juridiques

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Illustration du barrage gonflable - Coupe 3
Figure 2 : Illustration du BGVM - Coupe 4
Figure 3: Définitions des dimensions utiles d'un barrage gonflable 5
Figure 4: Définitions des dimensions utiles d'un BGVM 6
Figure 5: Exemple d'évaluation du coefficient de débit pour un barrage gonflé à l'eau [source BAW] 11
Figures 6 et 7: Schéma et coupe [source BAW] d'une membrane avec trois nappes de polymère 18
Figure 8 : Assemblage transversal des lés - Barrage de Lechbruck (Allemagne) 19
Figure 9 : Comparaison gonflage air/gonflage eau 24
Figure 10 : Principe de configuration géométrique des piles 25
Figure 11 : Configurations des ancrages rencontrées pour le gonflage à l'air 26
Figure 12 : Configurations des ancrages rencontrées pour le gonflage à l'eau 26
Figure 13 : Types d'ancrages 1- avec ralingue 2- dans le corps de la membrane 3- dans le corps de la membrane et avec ralingue 27
Figure 14 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'air 29
Figure 15 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'eau 31
Figure 16 : Principe du gonflage à l'air/eau 32
Figure 17 : Illustration du BGVM 33
Figure 18 : Illustration d'un BGVM à double chambre [Source Dyrhoff] 34
Figure 19 : Barrage de Turkheim (Allemagne) – Formation d'un pli sur bajoyers verticaux 36
Figure 20 : Illustration du phénomène de V-notch 39
Figure 21 : Photo du phénomène de V-notch - Barrage de Turkheim (Allemagne) 39
Figure 22 : Illustrations de l'effet d'un déflecteur type bec-verseur 40
Figure 23 : Photo d'un déflecteur type bec-verseur - Barrage de Kiebingen (Allemagne) 40
Figure 24 : Phénomène vibratoire pour le barrage gonflé à l'eau 41
Figure 25 : Déflecteurs type brise-lame [source BAW] 41
Figure 26 : Fuite suite à un acte de vandalisme [source BAW] 47
Figure 27 : Evolution du coût d'ordre des différents types de bouchure en fonction de la surface équipée [source BRL ingénierie] 49
Figure 28 : Evolution du ratio entre coût de génie civil et coût des équipements suivant la dénivelée de dimensionnement [source BRL ingénierie] 50
Figure 29 : Evolution du coût de fonctionnement et de maintenance annuels des différents types de bouchure par mètre carré de surface équipée [source BRL ingénierie] 51

Préambule

Voies navigables de France (VNF) gère actuellement près de 500 barrages de navigation ou de prise d'eau. Une partie de ces ouvrages est à manœuvre manuelle. Ceux-ci sont à reconstruire compte tenu des situations de travail à risque qu'ils impliquent pour les barragistes. L'état général de certains ouvrages, qu'ils soient manuels ou non, justifie leur rénovation soit totale, soit partielle au niveau des bouchures.

Parmi les solutions envisageables, la technologie des barrages gonflables peut s'avérer être une solution techniquement et économiquement intéressante, tant en investissement qu'en exploitation et maintenance. Leur délai de mise en œuvre peut être relativement plus court que pour des bouchures traditionnelles, eu égard aux contraintes de batardage/débatardage en rivière par exemple.

Bien que mondialement très répandu (près de 2 600 barrages recensés), et cela depuis les années 1950, le « gonflable » est resté confidentiel en France, et en particulier sur le réseau VNF sur lequel seuls trois barrages en sont équipés à fin 2011. Ce type de bouchure trouve de nombreuses applications: hydroélectricité, stockage d'eau, protections contre les inondations, régulation de niveau d'eau,… Concernant les barrages de navigation, les autorités allemandes en charge des voies navigables réalisent depuis 2005 des ouvrages gonflables à l'eau.

La technologie gonflable est très liée au savoir-faire des quelques fournisseurs présents sur le marché (cf. annexe 2. Retour d'expériences sur des ouvrages réalisés « benchmark »). Toutefois, à fin 2010, très peu d'éléments étaient encore brevetés (cf. annexe 3.1 Analyse juridique « propriété intellectuelle »).

Dans ce contexte, le présent document vise à faire la synthèse de retours d'expérience dans le domaine de la technologie « gonflable », à destination de la Maîtrise d'Ouvrage VNF, et notamment de ses Directions Territoriales. Il a pour objectif de fournir des éléments permettant d'une part d'évaluer l'opportunité de la technologie « gonflable » pour un site donné, et d'autre part de concevoir son utilisation lors de la rénovation d'un barrage de navigation. Ce document a été rédigé par BRL Ingénierie sous la supervision d'un comité de pilotage associant VNF, ses directions territoriales et le Cetmef.

Le guide se situe volontairement en amont des études de conception (études préliminaires ou de diagnostic, études d'avant-projet au sens de la loi MOP du 12/07/1985), avec quelques zooms technologiques indispensables à la maîtrise d'ouvrage. Les règles de dimensionnement des bouchures gonflables ne sont généralement pas « normalisées » et reposent sur des théories diverses. Lors des études, la conception des barrages gonflables doit faire l'objet de justifications soit par la maîtrise d'œuvre et par les entreprises (dans le cadre d'une procédure loi MOP), soit par les entreprises dans le cadre de procédures de type conception/réalisation ou de consultation anticipée (cf. annexe 3.2 Analyse juridique « schémas de contractualisation »). En tout état de cause, il revient à la maîtrise d'ouvrage de bien préciser les performances attendues dès le programme d'opération, puis de s'assurer lors des phases de conception et de réalisation que ces exigences sont effectivement atteintes.

La technologie « gonflable » se divise en deux catégories dont les concepts de fonctionnement sont différents :

- le barrage gonflable sans volet métallique, appelé dans le présent guide « barrage gonflable » en différenciant le barrage gonflé à l'air « BGA » du barrage gonflé à l'eau « BGE » ;
- et le barrage gonflable à volets métalliques « BGVM ».

Le guide est structuré comme suit :

- la première partie définit les deux technologies et leurs dimensions caractéristiques ;
- la seconde partie donne une analyse dimensionnelle des barrages recensés et indique les gammes dimensionnelles où la technologie « gonflable » est applicable ;
- la troisième partie liste les critères à prendre en compte dans la conception d'un barrage utilisant la technologie « gonflable » ;
- la quatrième partie décrit et donne des éléments de conception de la technologie « gonflable » ;
- la cinquième partie recense les dispositions constructives particulières ;
- la sixième partie aborde les coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance des barrages utilisant la technologie « gonflable » ;
- la septième et dernière partie analyse la pertinence des solutions gonflables et des solutions dites « classiques » (type clapets) ;
- les annexes suivantes, qui ont permis d'alimenter l'élaboration du guide en lui-même :
  - annexe 1 : Bibliographie
  - annexe 2 : Retour d'expérience sur des ouvrages réalisés (benchmark)
  - annexes 3 : Analyses juridiques :
    - annexe 3.1 : propriété intellectuelle
    - annexe 3.2 : schémas de contractualisation (sur la base du Code des Marchés Publics actualisé selon les décrets du 25/08/2011 et du 29/12/2011).

1. Présentation générale

1.1 Définitions

Ce paragraphe rappelle brièvement l'origine et le principe des barrages gonflables avec ou sans volets métalliques.

1.1.1 Le barrage gonflable

Le barrage gonflable a été développé en France par M. Mesnager, puis aux Etats-Unis par M. Imberston. La première réalisation est apparue en 1959 à Los Angeles.

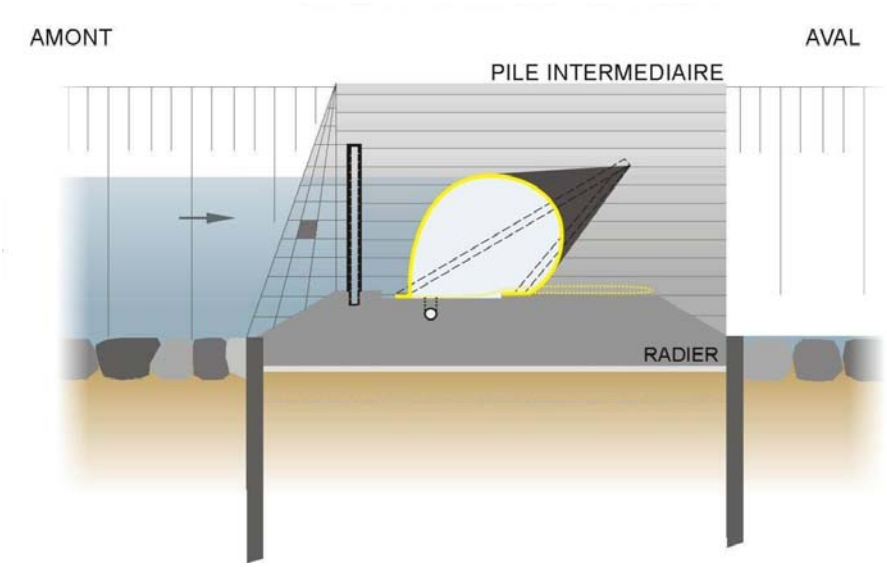


Figure 1 : Illustration du barrage gonflable - Coupe

Le barrage gonflable se compose d'une membrane formant une baudruche, qui est ancrée sur un radier en béton au fond du cours d'eau. Cette baudruche est gonflée au moyen d'air (BGA : Barrage Gonflable à l'Air), d'eau (BGE : Barrage Gonflable à l'Eau), voire d'une combinaison des deux, dans le but d'assurer le maintien ou la régulation d'un plan d'eau.

1.1.2 Le barrage gonflable à volets métalliques

Le Barrage Gonflable à Volets Métalliques (BGVM) a été principalement développé par la société Obermeyer en 1988, date à laquelle le premier barrage du même nom est installé aux Etats-Unis.

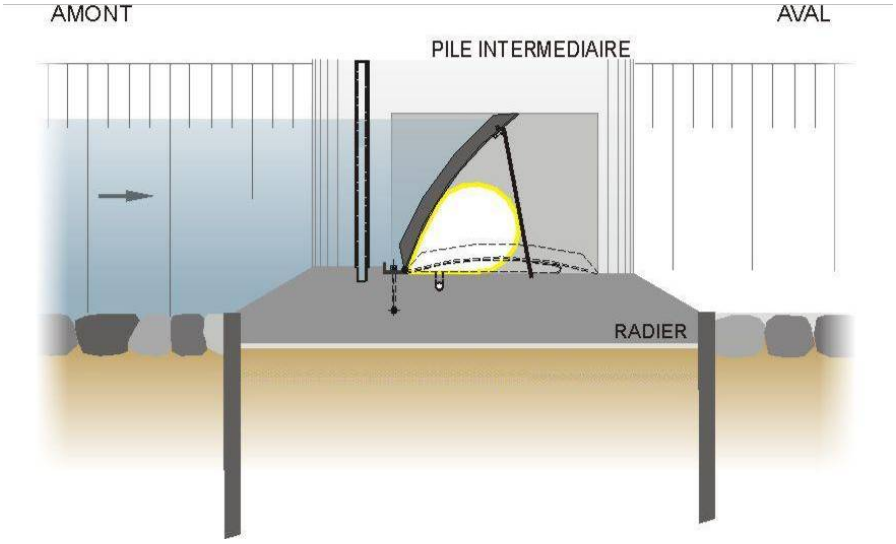


Figure 2 : Illustration du BGVM - Coupe

Le BGVM se compose de volets manœuvrés par des coussins qui jouent le rôle d'un actionneur gonflable, l'ensemble étant ancré sur un radier en béton au fond du cours d'eau. Ces coussins sont gonflés au moyen d'air ou d'eau dans le but d'incliner les volets afin d'assurer le maintien ou la régulation d'un plan d'eau. Les volets jouent également le rôle de protection du coussin.

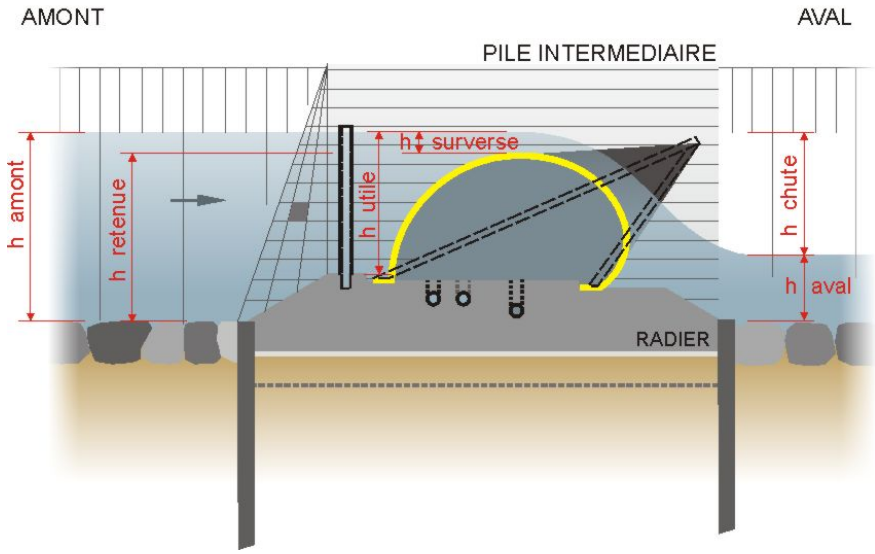
Une variante du BGVM, utilisant un seul coussin gonflé au moyen d'air ou d'eau pour actionner l'ensemble des volets, a été développée à la même période par la société Hydro Air Bank en Italie.

1.2 Définitions des dimensions utiles

Les principaux éléments qui caractérisent les barrages de navigation sont récapitulés sur les illustrations ci-dessous. Les notions de hauteur utile et de largeur utile décrites au chapitre 2 « domaine d'application » sont précisées.

1.2.1 Le barrage gonflable

Coupe transversale de principe



Coupe longitudinale de principe

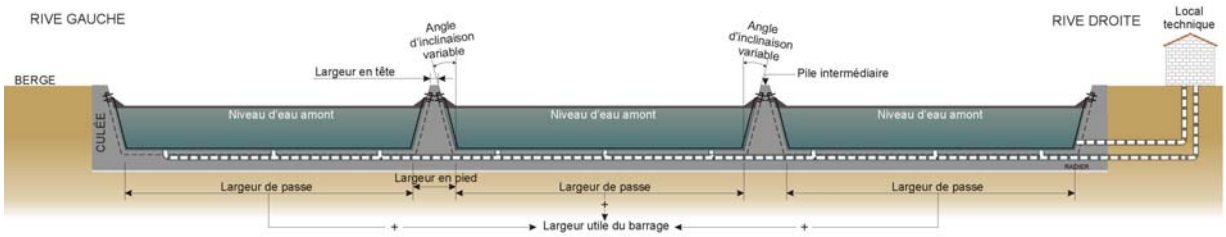
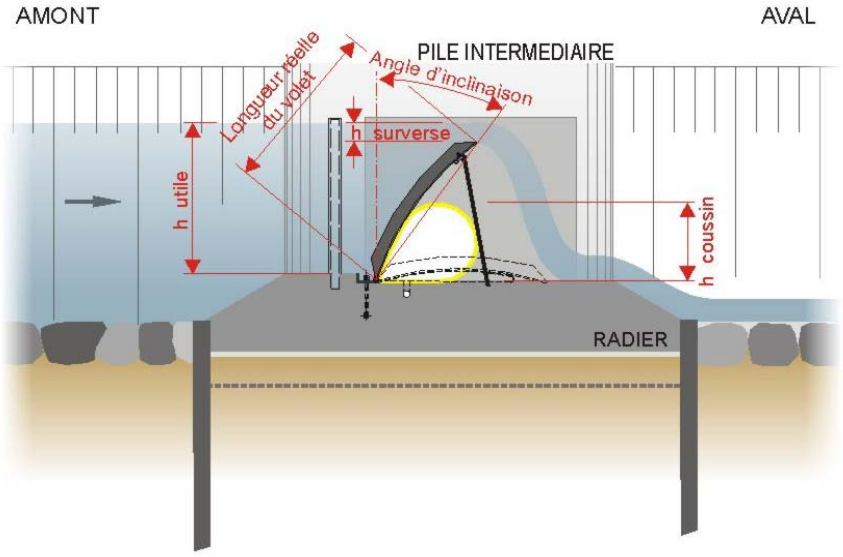


Figure 3: Définitions des dimensions utiles d'un barrage gonflable

Nota : Pour permettre l'installation d'une bouchure gonflable, les bajoyers de chaque passe équipée peuvent être inclinés (afin d'optimiser sa hauteur tout en facilitant l'effacement complet de la membrane sur le radier du barrage) ou verticaux.

1.2.2 Le barrage gonflable à volets métalliques

Coupe transversale de principe



Coupe longitudinale de principe

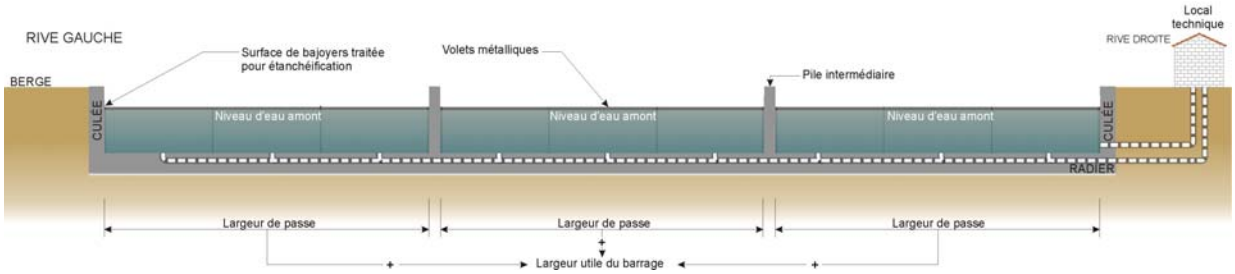


Figure 4: Définitions des dimensions utiles d'un BGVM

Nota : Pour permettre l'installation d'un BGVM, les bajoyers de chaque passe équipée sont verticaux pour former un plan de glissement avec le volet métallique.

2. Domaine d'application

2.1 Rappel du domaine d'application considéré

Ce guide s'inscrit dans la volonté de VNF de réhabiliter et de moderniser une partie des barrages de navigation régulant son réseau.

Sauf exception, ces barrages ont des hauteurs utiles comprises entre 1 à 7m, pour une majorité entre 2 et 3m, et des largeurs utiles totales comprises entre 5 et 220m, pour une majorité entre 10 et 100m.

Dans le paragraphe qui suit, le Maître d'Ouvrage pourra déterminer, à l'aide des dimensions utiles du barrage existant qu'il envisage de reconstruire ou de réhabiliter, si l'utilisation de la technologie gonflable semble pertinente et applicable à son projet.

2.2 Détermination des dimensions utiles des passes projetées

Les dimensions utiles des bouchures mobiles dépendent des contraintes du projet : les données hydrauliques, les contraintes de chaque site et les objectifs d'exploitation et de maintenance.

Après avoir déterminé approximativement la hauteur utile et la largeur utile totale du barrage à reconstruire ou réhabiliter, le nombre de passes de l'ouvrage doit être fixé pour définir la largeur utile d'une bouchure.

Le nombre de passes doit être déterminé en fonction des objectifs à atteindre pour le projet, notamment :

- rendre possible une intervention sur une passe, dans le cas d'une opération de maintenance, tout en conservant une capacité de gestion des débits suffisante pour le reste de l'ouvrage ;
- limiter la largeur du batardeau, afin qu'il reste manipulable dans des conditions satisfaisantes ;
- minimiser les incidences sur le bief, en cas d'affaissement accidentel d'une passe ;
- favoriser la localisation des écoulements afin d'éviter les érosions de berges ou la gêne à la navigation (courants traversiers).

La hauteur utile et la largeur utile seront à affiner progressivement lors des études, en fonction des contraintes hydrauliques et environnementales d'une part, et du nombre et de la largeur des piles d'autre part.

Le fait de standardiser la largeur des passes du barrage, voire de plusieurs barrages situés sur un même secteur, peut permettre de disposer d'un système de batardage unique pour le(s) barrage(s) en question, et d'optimiser sa (leur) maintenance (pièces de rechange).

2.3 Applications dimensionnelles existantes

2.3.1 Barrage gonflable

Le barrage gonflable permet de couvrir la plupart des dimensions des ouvrages VNF qui sont à réhabiliter. En effet, les ouvrages recensés à ce jour couvrent à la fois des dimensions élancées de petites à moyennes hauteurs et des dimensions peu élancées de moyennes à grandes hauteurs.

Le tableau suivant récapitule les dimensions des passes d'un échantillon de barrages (149 passes gonflées à l'air et 204 gonflées à l'eau) les plus fréquemment installées.

- Passes gonflées à l'air

H/L	< 5m	5m - 10m	10m - 20m	20m - 30m	30m - 40m	40m - 50m	50m - 100m	> 100m	Total
< 0.5m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5m - 1m	1	1	2	2	3	2	1	1	13
1m - 2m	4	17	11	9	5	7	8	2	63
2m - 3m	2	4	14	16	13	2	6	0	57
3m - 4m	1	0	1	2	7	2	1	0	14
4m - 6m	0	0	0	1	0	0	0	0	1
> 6m	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Total	**8**	**22**	**28**	**30**	**28**	**13**	**17**	**3**	**149**

- Passes gonflées à l'eau

H/L	< 5m	5m - 10m	10m - 20m	20m - 30m	30m - 40m	40m - 50m	50m - 100m	> 100m	Total
< 0.5m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5m - 1m	1	9	15	13	3	1	2	0	44
1m - 2m	3	12	33	33	7	13	11	1	113
2m - 3m	0	2	7	21	8	1	0	0	39
3m - 4m	0	0	0	3	2	0	0	0	5
4m - 6m	0	0	0	0	0	3	0	0	3
> 6m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**4**	**23**	**55**	**70**	**20**	**18**	**13**	**1**	**204**

LEGENDE COULEURS :

< 5 %	**5 à 10 %**	**10 à 15 %**	**15 à 20 %**
20 à 30 %	**30 à 40 %**	**> 40 %**	

Ces deux recensements montrent une dominante pour l'équipement de passes :

- gonflées à l'air : de 1 à 3m de haut et 5 à 40m de large ;
- gonflées à l'eau : de 0,5 à 3m de haut et 5 à 30m de large.

Cette approche reste indicative mais permet de dessiner les contours des dimensions utiles pour lesquelles le barrage gonflable apparaît particulièrement adapté au projet.

Ceci n'empêche pas l'équipement de passes à dimensions plus extrêmes. On notera notamment l'existence de plusieurs barrages ayant des passes de 40 à 100m de long, pour des hauteurs de 1 à 6m.

2.3.2 Barrage gonflable à volets métalliques

Le BGVM permet de couvrir la plupart des dimensions des ouvrages VNF à réhabiliter. En effet, les ouvrages recensés couvrent à la fois des dimensions élancées de petites à moyennes hauteurs et des dimensions peu élancées de moyennes à grandes hauteurs.

A noter que le fournisseur Obermeyer propose pour des hauteurs conséquentes un doublement des coussins (Cf. §4.4).

Le tableau suivant récapitule les dimensions des passes de barrages recensés (371 BGVM) les plus fréquemment installées.

H/L	< 5m	5m - 10m	10m - 20m	20m - 30m	30m - 40m	40m - 50m	50m - 100m	> 100m	Total
< 0.5m	0	2	1	1	0	0	2	0	6
0.5m - 1m	21	11	16	6	8	2	8	6	78
1m - 2m	45	32	29	16	15	6	11	5	159
2m - 3m	15	24	14	6	13	3	6	3	84
3m - 4m	6	4	8	7	3	0	2	1	31
4m - 6m	0	3	3	0	1	0	1	0	8
> 6m	1	0	1	3	0	0	0	0	5
Total	**88**	**76**	**72**	**39**	**40**	**11**	**30**	**15**	**371**

LEGENDE COULEURS :

< 5 %	**5 à 10 %**	**10 à 15 %**	**15 à 20 %**
20 à 30 %	**30 à 40 %**	**> 40 %**	

Ces recensements montrent une dominante pour l'équipement de passes de 0,5 à 3m de haut et moins de 5m à 40m de large, avec un certain nombre de passes de faible largeur. Cela est dû au contexte particulier de certains ouvrages ayant pour vocation de surélever des évacuateurs de crues de barrage de stockage ou de faire office de batardeau pour canaux.

Cette approche reste indicative mais permet de dessiner les contours des dimensions utiles pour lesquelles le barrage gonflable à volets métalliques apparaît particulièrement adapté au projet.

Ceci n'empêche pas l'équipement de passes à dimensions plus extrêmes. On notera notamment l'existence de plusieurs barrages ayant des passes de 40 à plus de 100m de long, et des passes de hauteur de 3m à plus de 6m.

ATTENTION :

La pertinence d'une solution gonflable ne peut pas se résumer à une simple application géométrique et doit dans tous les cas être confirmée au regard de l'ensemble des besoins et contraintes du Maître d'Ouvrage.

3. Critères à prendre en compte pour la conception du barrage gonflable avec ou sans volets métalliques

Après avoir confirmé que l'ouvrage à reconstruire ou réhabiliter correspond à la gamme dimensionnelle des barrages gonflables, ce paragraphe rappelle au lecteur les principaux éléments d'environnement et/ou de contexte à prendre en compte pour son projet.

Les critères listés ci-après regroupent l'ensemble des informations que le Maitre d'Ouvrage doit prendre en considération et doit rappeler le cas échéant au concepteur lorsqu'une solution de type gonflable est envisagée.

Le lecteur pourra ensuite se reporter :

- au chapitre 4 pour prendre connaissance des principaux éléments constituant un barrage gonflable ;
- au chapitre 5 pour comprendre les dispositions constructives particulières à prendre en compte suivant les problématiques propres à son projet ;
- au chapitre 6 pour ce qui concerne l'évaluation des coûts d'ordre ;

Le chapitre 7 présente une synthèse pour évaluer, de manière générale, la pertinence des technologies gonflables vis-à-vis d'une solution type vanne clapet, actuellement très utilisée en rénovation de barrages de navigation.

3.1 Conditions hydrauliques

3.1.1 Charges hydrauliques

Les conditions hydrauliques de l'ouvrage (niveau amont, niveau aval, hauteur de surverse) vont conditionner les charges d'eau statiques à appliquer sur la baudruche ou sur l'ensemble volet-coussin.

Ce sont ces charges hydrauliques qui vont principalement conditionner le dimensionnement de la membrane, de son ancrage et de l'éventuel volet métallique. Les cas de charge considérés par le concepteur devront faire l'objet d'une attention particulière.

3.1.2 Capacité de régulation et d'effacement en cas de crue

Les capacités d'une bouchure à réguler un plan d'eau finement et à s'effacer progressivement ou rapidement à l'approche d'une crue vont déterminer la technologie à mettre en place et vont participer au dimensionnement du système de gonflage : puissance des compresseurs, dimension des canalisations d'alimentation et de vidange des baudruches ou des coussins, ...

La gamme des débits que doit couvrir la bouchure ainsi que les caractéristiques des crues (débits, occurrence,…) doivent permettre au concepteur de confirmer la largeur et la hauteur utile du barrage et de déterminer le temps de manœuvre et le mode de fonctionnement possible de ses différentes passes.

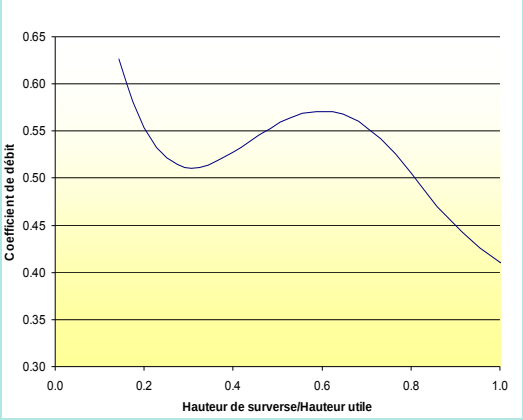
EN SAVOIR PLUS : CALCUL DE LA DEBITANCE D'UNE BOUCHURE

Pour calculer la débitance d'une bouchure, le concepteur devra évaluer au préalable son coefficient de débit afin de calculer les débits transitant par le barrage[1].

Si les concepteurs ont l'habitude de définir ce coefficient de débit pour des bouchures traditionnelles, ils ne disposent pas systématiquement des approches similaires, qui restent indicatives, déjà menées pour les technologies gonflables.

Coefficient de débit d'un barrage gonflable

Les éléments ci-dessous, issus de cas étudiés en Allemagne sur un modèle réduit de barrage gonflé à l'eau, donnent une indication de la loi hauteur/débit pour un écoulement dénoyé :



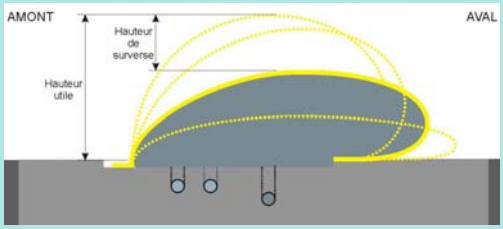


Figure 5: Exemple d'évaluation du coefficient de débit pour un barrage gonflé à l'eau [source BAW]

Pour les faibles hauteurs de surverse, les coefficients de débit sont importants en raison de l'effet Coanda : les lignes d'eau épousent parfaitement la courbure de la baudruche.

La débitance diminue avec l'augmentation de la hauteur de surverse jusqu'à la création d'un point d'inflexion sur la membrane pour un rapport de hauteur de surverse/hauteur utile de 0,3. Ce point d'inflexion profile la baudruche et augmente sa capacité hydraulique au fur et à mesure de son décalage vers l'aval et donc du dégonflage de la baudruche.

Pour une hauteur de surverse supérieure à 60% de la hauteur utile du barrage, les effets de seuil épais prédominent sur les effets de la baudruche et le coefficient de débit décroît pour atteindre une valeur de proche de 0,385 (valeur classique d'un seuil épais) pour un barrage effacé (hauteur de surverse = hauteur utile).

L'évolution du coefficient de débit d'un barrage gonflé à l'air n'est pas décrit dans la littérature. Si son comportement peut être assimilé à celui d'un barrage gonflé à l'eau pour une faible surverse, il n'en est pas de même lorsque celle-ci augmente, en raison de la forme de la baudruche qui n'est pas constante sur son linéaire (phénomène de V-notch abordé au chapitre 5.1.1).

Coefficient de débit d'un barrage gonflable à volets métalliques

Pour les Barrages Gonflables à Volets Métalliques, le coefficient de débit qui peut être admis varie de 0,45 (position gonflée assimilée à un seuil mince) à 0,40 (position effacée assimilée à un seuil épais).

Nota : la débitance d'un seuil en rivière peut être optimisée comme cela a été le cas pour les barrages gonflables mis en service par les autorités allemandes en charge des voies navigables en référence aux travaux de M. Jambor, F: Erhöhung der festen Wehrschwelle bei gleicher hydraulischer Leistung (1953) qui traitent du profilage des seuils en rivière (partie amont et aval des radiers) permettant d'augmenter leur capacité hydraulique.

---

1 Pour rappel : $Q=\mu \times (2g)^{½} \times L \times h^{3/2}$ pour un seuil dénoyé avec Q : débit, µ : coefficient de débit, L : longueur du seuil, h : charge d'eau sur le seuil

3.1.3 Précision de régulation

Le maintien d'un plan d'eau est la principale fonction des barrages gonflables actuellement en service dans le monde. La finesse de régulation n'est cependant pas la même selon la technologie utilisée. Celle-ci dépend notamment de la stabilité de la bouchure face à l'écoulement.

BARRAGE GONFLABLE

Sans disposition constructive particulière, il est admis qu'une bouchure gonflable est parfaitement stable (et permet d'obtenir une bonne finesse de régulation) pour une hauteur de surverse allant jusqu'à :

- 10-20% de la hauteur utile du barrage pour le barrage gonflé à l'air ;
- 40-50% de la hauteur utile du barrage pour le barrage gonflé à l'eau.

Le comportement de la membrane est en revanche différent suivant le type de gonflage : la crête d'une bouchure gonflée à l'eau est réputée rectiligne, tandis que celle d'une bouchure gonflée à l'air s'affaissera localement pour laisser passer le débit de surverse.

Au-delà de ces hauteurs de surverse, des dispositions constructives sont à prévoir, en particulier sur le BGE, pour s'assurer de la stabilité de la bouchure pour tous les débits (voir §5.1).

BARRAGE GONFLABLE A VOLETS METALLIQUES

Le barrage gonflable à volets métalliques offre généralement une bonne stabilité lors d'un déversement, notamment du fait de la présence du volet qui repose sur les actionneurs gonflables.

La précision de régulation est un paramètre à prendre en compte pour que le concepteur détermine la solution gonflable la mieux adaptée au projet. Le besoin d'une régulation fine (régulation à + ou – 5cm, voire moins) sur une large gamme de débits donne un net avantage au barrage gonflable à l'eau et au barrage gonflable à volets métalliques, dès lors que cette technologie ne peut pas être associée à un autre type de bouchure (cas du barrage mixte).

EN SAVOIR PLUS : LA NOTION DE BARRAGE MIXTE

L'association des technologies gonflables et traditionnelles, voire de deux technologies gonflables différentes, peut apparaître comme une solution techniquement et économiquement intéressante pour la réhabilitation de certains ouvrages VNF. Ce point est à considérer en gardant à l'esprit les contraintes que peuvent apporter des ouvrages équipés sur un même site de bouchures différentes et qu'il faudra limiter.

La notion de barrage mixte décrit l'association d'une technologie dite de « régulation fine » d'un plan d'eau à une technologie dont le fonctionnement est limité en « tout ou rien ».

Les petits à moyens débits sont gérés par la ou les passe(s) de régulation fine tandis que les crues le sont par la ou les passes de fonctionnement « tout ou rien ». Il est également possible de solliciter une passe de fonctionnement « tout ou rien » lorsque qu'une passe de régulation fine est proche de la position effacée, pour permettre sa remise en fonction en tant que passe de régulation.

Le concepteur peut être invité à prendre en compte la possibilité d'un barrage mixte dans le choix du type de bouchure du barrage à réaliser ou à réhabiliter.

Pour imager ce propos, il est pris l'exemple d'un barrage de trois passes dont une passe assure une régulation fine et deux passes fonctionnent en tout ou rien. Le principe théorique de régulation des débits serait le suivant :

Débit/Passe	Passe 1-régulation fine	Passe 2-tout ou rien	Passe 3-tout ou rien
0 à Q1	Régulation fine	Rien (aucune surverse)	Rien (aucune surverse)
Q1 :	Ouverture complète	Rien (aucune surverse)	Rien (aucune surverse)
Q1 à Q2 :	Régulation fine	Tout (ouverture complète)	Rien (aucune surverse)
Q2 :	Ouverture complète	Tout (ouverture complète)	Rien (aucune surverse)
Q2 à Q3 :	Régulation fine	Tout (ouverture complète)	Tout (ouverture complète)
>Q3	Ouverture complète	Tout (ouverture complète)	Tout (ouverture complète)

3.2 Conditions climatiques

Les conditions climatiques sont à prendre en compte dans le choix de la solution (barrage gonflable à l'eau, à l'air ou BGVM) et des dispositions constructives qui devront y être associées.

En pratique, le dimensionnement des bouchures gonflables est essentiellement dicté par les cas de charge hydraulique : les efforts dans la membrane et les ancrages sont affectés d'un facteur correctif tel (a minima supérieur à 8) qu'il dispense de toute autre vérification.

La prise en compte de conditions climatiques pour le dimensionnement des BGVM peut être approchée par un bilan des forces et des moments appliqués au volet métallique.

3.2.1 Glace et gel

3.2.1.1 Formation de couches de glace de surface

La formation occasionnelle de glace en surface de la retenue amont peut amener une charge supplémentaire sur la baudruche ou le volet métallique.

Dans le cas des barrages gonflables, cette contrainte est reprise par la souplesse de la baudruche et engendre une surpression. En fonction de l'importance de cette surpression, un dégonflage partiel peut être enclenché afin de laisser passer les éventuels blocs de glace, sans avoir de conséquence sur le niveau amont à tenir.

Dans le cas des BGVM, cette contrainte est également reprise par la souplesse des coussins mais dans une moindre mesure en raison des pressions plus importantes. Ceci a pour effet de solliciter d'avantage le corps du volet et les ancrages, jouant ainsi sur les caractéristiques des volets métalliques et des tirants d'ancrage.

Le concepteur devra se rapprocher des recommandations de ROSA 2000 pour la prise en compte de la force exercée par une couche de glace en amont de la bouchure.

3.2.1.2 Gel des eaux de remplissage

En l'absence de déversement continu, la partie de la baudruche exposée à l'air peut être soumise à des températures négatives.

Toutefois, le cas d'une baudruche qui se déchirerait sous l'effet du gel des eaux de remplissage n'a jamais été recensé malgré l'existence de barrages gonflés à l'eau dans des régions connaissant des épisodes longs de froid intense (T<-10° *C).

La formation occasionnelle de glace est à prendre en compte pour les eaux de remplissage de la baudruche dans le cas du barrage gonflable à l'eau. Des dispositions constructives permettant de limiter ce phénomène sont exposées §5.2.

3.2.1.3 Gel à l'interface bouchure-génie civil

En l'absence de déversement continu, et en cas d'exposition du barrage à des épisodes de froid intense durable (T<-10° à -15°C), les zones d'interface entre la bouchure et le génie civil peuvent être soumises au gel. Ce phénomène concerne essentiellement les barrages gonflables équipés de volets métalliques.

La formation occasionnelle de glace est à prendre en compte dans le cas du BGVM où des dispositions constructives sont parfois nécessaires pour éviter le blocage par le gel des volets d'about contre les bajoyers de l'ouvrage (voir §4.4).

3.2.2 Vent

Le vent peut influencer les contraintes que subissent la membrane, ou l'ensemble volet-coussin pour les BGVM, et leur ancrage.

Il ne constitue pas, a priori, un critère de dimensionnement préjudiciable pour les membranes, les effets étant généralement considérés comme marginaux vis-à-vis du facteur correctif pris lors du dimensionnement des bouchures.

Les systèmes plus légers, comme les barrages gonflés à l'air, sont a priori plus sensibles.

Si l'influence du vent est considérée comme négligeable vis-à-vis du facteur admis pour le dimensionnement des membranes, le concepteur devra vérifier dans les cas extrêmes que la stabilité d'ensemble du barrage n'est pas affectée par application des recommandations de l'Eurocode 1 – Partie 1.4 pour la prise en compte d'une force horizontale sur la face de la bouchure potentiellement exposée au vent.

3.2.3 Neige

Dans le cas d'un barrage non déversant, la formation d'une couche de neige en surface peut engendrer une surcharge sur les bouchures.

Les effets sont le plus souvent considérés comme marginaux vis-à-vis du facteur correctif pris lors du dimensionnement de la membrane et de ses ancrages.

Si l'influence de la neige est considérée comme négligeable vis-à-vis du facteur admis pour le dimensionnement des membranes, dans les cas extrêmes le concepteur devra se référer aux recommandations de l'Eurocode 1 – Partie 1.3 pour la prise en compte des effets liés à la neige.

3.2.4 Variation de température

Les variations de température influent sur la pression interne des baudruches ou coussins gonflés à l'air.

L'influence de la température sur les bouchures gonflées à l'eau est considérée comme négligeable au regard des facteurs correctifs usuellement retenus pour leur dimensionnement.

Pour les barrages gonflés à l'air, le concepteur devra étudier la nécessité de mettre en œuvre des systèmes de sécurité pour limiter des modifications de pression liées aux variations de température (voir §5.2).

3.2.5 Ozone/UV

L'influence de l'ozone et des UV sur la baudruche ou les coussins est prise en compte dans la définition de la membrane.

Le concepteur devra porter une attention particulière au choix du matériau constituant la membrane, notamment en ce qui concerne la couche extérieure de protection (voir §4.1.5).

3.3 Critères environnementaux

3.3.1 Sédiments

3.3.1.1 Dépôt de sédiments en amont d'une bouchure

Le dépôt de sédiments en amont d'une bouchure n'est généralement pas pris en compte pour le dimensionnement de la membrane et des ancrages.

Il pourrait toutefois augmenter les pressions de fonctionnement de la bouchure ainsi que les efforts à reprendre par les ancrages.

En cas de présomption d'un dépôt sédimentaire important en amont du barrage qui ne serait pas régulièrement évacué lors des crues, le concepteur justifiera la façon dont cet élément est pris en compte dans son dimensionnement.

3.3.1.2 Transport de sédiments

Le transport sédimentaire est permis par l'effacement des bouchures lors des passages de crues ou lors d'opérations d'entretien. Ces opérations sont plus facilement réalisables pour les barrages ayant des temps de manœuvre courts (gonflage à l'air).

Le type de sédiments transporté par le cours d'eau objet du projet est à prendre en compte par le concepteur pour le choix du matériau de la membrane ou du volet métallique afin de répondre à une éventuelle abrasion de surface (voir §4.1.5).

3.3.2 Embâcles

3.3.2.1 Embâcles flottants

Les retours d'expérience à ce jour des ouvrages installés montrent que les embâcles flottants ne portent pas préjudice à la technologie gonflable qu'elle soit équipée ou non de clapets métalliques. Plusieurs ouvrages visités, existant depuis plusieurs années, voire dizaines d'années, connaissent régulièrement des passages d'arbres sans occasionner de dégât. Au contraire, leur passage serait facilité du fait de la souplesse de ce type de bouchure.

Le concepteur devra porter une attention particulière au choix du matériau constituant la membrane des barrages gonflables, notamment en ce qui concerne la couche extérieure de protection (voir §4.1.5).

3.3.2.2 Embâcles roulants

Les embâcles roulants type rochers, transportés notamment lors des crues, peuvent dégrader la membrane dégonflée reposant sur le génie civil, ou endommager les ancrages ou les volets. Des dispositions peuvent être prises pour protéger la membrane et/ou la rendre plus résistante (voir §4.1.5 et 5.2).

A noter qu'a priori cette contrainte ne concerne pas les voies d'eau gérées par VNF. En effet, cette problématique a surtout été rencontrée lors du benchmark sur des cours d'eau charriant des rochers en période de fortes crues (torrents de montagne par exemple).

En tout état de cause, les dégâts occasionnés restent la plupart du temps assez limités. Un contrôle du fonctionnement de la bouchure après le passage de la crue est recommandé en phase d'exploitation.

Le concepteur peut être alerté sur l'intérêt d'un surdimensionnement des dispositifs de gonflage pour compenser d'éventuelles fuites, assurant le maintien de la baudruche en position haute.

3.3.3 Continuité piscicole

La problématique piscicole est identique, tant en montaison qu'en dévalaison, à celles des autres systèmes de bouchure fonctionnant par surverse (vanne clapet par exemple). La différence principale est liée au fait que le pied aval du barrage gonflable n'est pas forcément en eau puisqu'il ne nécessite pas la création d'une fosse pour accueillir la bouchure en position abaissée. Cet élément ne semble pour autant pas pouvoir être à l'origine d'une quelconque mortalité piscicole.

En revanche, l'attractivité de la passe à poissons devra faire l'objet d'une attention particulière dans le cas

- d'un barrage mixte, du fait du fonctionnement possible d'une passe en tout ou rien ;
- d'un barrage gonflé à l'air, du fait du V-notch qui concentre localement les débits de la passe au delà de certains débits.

L'attention du concepteur sera alertée sur la compatibilité de l'aménagement gonflable qu'il propose et la problématique piscicole.

3.3.4 Oxygénation de l'eau

L'oxygénation de l'eau est permise par la mise en place de déflecteurs de type bec verseur ou brise lame suivant le type de bouchure installée.

La mise en place de déflecteurs se justifie essentiellement pour améliorer le comportement de la bouchure au déversement (voir §5.1). Ils sont indispensables au bon fonctionnement du barrage et permettent par la même occasion de traiter la question de l'amélioration de l'oxygénation de l'eau.

3.3.5 Pollution de l'eau

L'absence d'utilisation d'huile et de graisses est un des avantages environnementaux majeurs de la technologie gonflable par rapport aux technologies traditionnelles qui en utilisent notamment pour les organes de manœuvre.

Par ailleurs, les propriétés des matériaux constituant la membrane doivent permettre de résister aux phénomènes d'abrasion, dus notamment au transport de sédiments, afin de limiter les quantités de matériaux rejetés dans les cours d'eau.

Le concepteur devra porter une attention particulière au choix du matériau constituant la membrane, notamment en ce qui concerne la couche extérieure de protection (voir §4.1.5).

3.4 Risque de vandalisme

Le risque de vandalisme évalué concerne les coups de couteau qui seraient portés à la bouchure (au même titre que les flexibles hydrauliques mis en œuvre pour des bouchures traditionnelles pourraient être sectionnés) et des tirs de fusil sur les parties de membrane visibles. Il concerne les barrages gonflables comme les BGVM.

A noter que les fuites occasionnées, quoique plus préjudiciables pour les membranes gonflées à l'air (voir §5.4.2), sont la plupart du temps assez limitées.

Un surdimensionnement raisonné des dispositifs de gonflage permet de compenser les fuites, assurant le maintien de la baudruche en position de régulation normale pendant un temps assez long de plusieurs semaines à plusieurs mois.

A titre indicatif, le BAW (Bundesanstalt Für Wasserbau, Allemagne) a évalué à 30l/j le débit d'une fuite sur un barrage gonflé à l'eau consécutive à un impact par balle.

Le concepteur devra porter une attention particulière au choix du matériau constituant la membrane, notamment en ce qui concerne la couche extérieure de protection et les couches de polymères qui contribuent à son renforcement (voir §4.1.5). Dans le cas où une passerelle serait aménagée, son positionnement doit être étudié pour limiter ce risque.

3.5 Séisme

Concernant la bouchure à proprement parler, le séisme peut créer une charge hydrodynamique du fait de la création d'une onde dans la retenue amont, voire aval.

Le séisme doit être pris en compte dans le dimensionnement du génie civil du barrage. Le concepteur appliquera pour cela l'Eurocode 8. Pour la prise en compte de la charge hydrodynamique sur la bouchure, le concepteur appliquera la théorie de Westergaard.

3.6 Micro-centrale

De nombreux barrages gonflables sont installés dans le cadre de production d'hydroélectricité. La présence d'une micro centrale à proximité immédiate du barrage peut influer sur la régulation du débit.

Les automatismes installés devront tenir compte du fonctionnement de la centrale qui pourra gérer une partie de la régulation du cours d'eau en exploitation courante. Les bouchures et leurs systèmes de manœuvre devront être définis en considérant un arrêt inopiné des turbines pour se prémunir d'un impact anormal sur le cours d'eau.

4. Éléments technologiques propres aux barrages gonflables avec ou sans volets métalliques

Les éléments suivants sont d'un niveau technologique qui vont au delà de l'objectif du guide et des besoins de la Maîtrise d'ouvrage VNF.

Il est néanmoins apparu intéressant de réaliser ce focus technique, en particulier sur la constitution de la membrane, cœur du dispositif d'un barrage gonflable avec ou sans volets métalliques. Les informations retranscrites ici proviennent de la littérature existante et des fournisseurs rencontrés pour l'élaboration de ce guide.

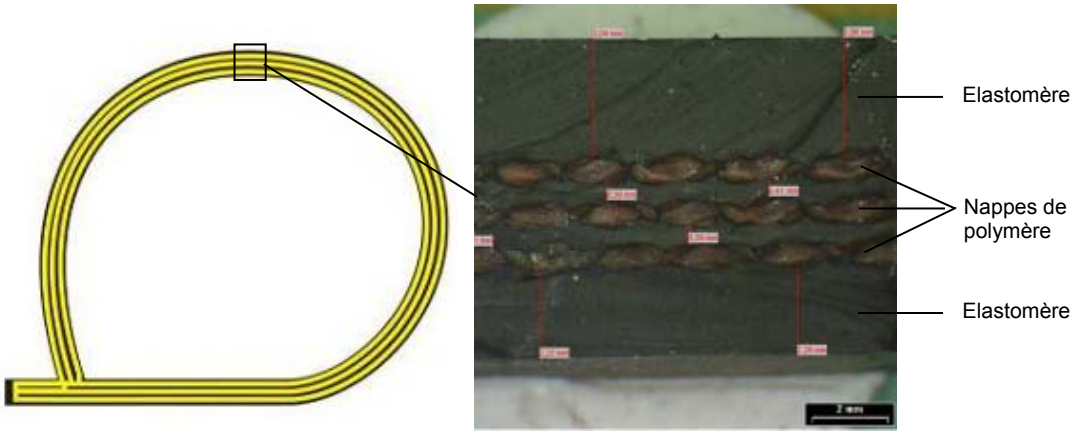
Ce chapitre a pour objet de mieux connaître les principales caractéristiques des éléments constitutifs d'un barrage gonflable. Il ne se veut en aucun cas exhaustif du fait que les spécificités technologiques propres à chaque fournisseur sont en constante évolution.

Les chapitres 4.1 à 4.3 concernent uniquement les barrages gonflables. Le chapitre 4.4 précise quant à lui les spécificités du BGVM. Le chapitre 4.5 aborde la question de la réutilisation du génie civil existant.

4.1 Membrane

4.1.1 Constitution

La membrane d'un barrage gonflable est un matériau composite constitué d'une ou plusieurs nappes de fibres de polymère, selon la résistance désirée, noyées dans un élastomère.



Figures 6 et 7: Schéma et coupe [source BAW] d'une membrane avec trois nappes de polymère

Les nappes de fibres ont pour fonction de reprendre les efforts de traction induits par les différentes charges.

Les couches d'élastomère jouent un rôle différent en fonction de leur position et peuvent donc être constituées différemment :

- la couche extérieure joue le rôle de protection aux différents types d'agressions apportés par l'eau, les UV, la chaleur, l'ozone, et surtout le passage des sédiments (résistance à l'abrasion) ;
- la ou les couche(s) intermédiaire(s) (dans le cas de plusieurs nappes de fibres) joue le rôle d'adhésion vis-à-vis des nappes de fibres et d'étanchéité vis-à-vis de l'eau extérieure ;
- la couche intérieure joue le rôle d'étanchéité vis-à-vis du fluide de remplissage et de protection pour la nappe de fibre intérieure. Une résistance à l'ozone peut également être requise dans le cas du gonflage à l'air, mais dans une moindre mesure que pour la couche extérieure.

4.1.2 Fabrication

Les trames de textile sont préalablement trempées dans un bain pour améliorer leur adhérence avec le caoutchouc. Le mélange de caoutchouc passe dans des rouleurs compresseurs pour former des lés. Les lés de caoutchouc et les trames textiles sont superposés et passés sous presse à chaud. On parle alors de vulcanisation. On obtient ainsi des lés de largeur limitée et de longueur importante.

En fonction des dimensions du barrage et des fournisseurs de membranes, ces lés peuvent être assemblés longitudinalement ou transversalement. La plupart des fabricants les assemblent transversalement, les trames de textile ayant une plus grande résistance longitudinale (sens de fabrication) et le barrage étant soumis à plus de sollicitations dans cette direction. L'assemblage s'effectue par mise en place d'une colle spéciale et d'une nouvelle vulcanisation locale à chaud.

Figure 8 : Assemblage transversal des lés - Barrage de Lechbruck (Allemagne)

Une autre technique consiste à réaliser un autoclave. Elle consiste à utiliser un four chaud à haute pression pour assurer l'adhésion des trames de textile au caoutchouc. Ce procédé est moins répandu car il impose au fournisseur de disposer d'un outil de production de grande dimension dont le coût d'investissement peut s'avérer peu rentable.

Ces phénomènes irréversibles liés à la vulcanisation permettent notamment d'améliorer pour l'élastomère :

- l'élasticité et dans une moindre mesure ses propriétés de résistances mécaniques ;
- la tenue thermique, en supprimant la thermo-plasticité.

Pour différents usages, l'épaisseur de la membrane varie entre 4mm et 30mm selon les fournisseurs et le nombre de couches. Les épaisseurs courantes restent toutefois en deçà de 16mm.

4.1.3 Elastomère

L'élastomère, usuellement appelé caoutchouc, présente des propriétés élastiques lui permettant de supporter de très grandes déformations avant rupture.

Cinq types d'élastomères employés pour constituer les membranes des barrages gonflables ont été recensés :

- le caoutchouc naturel (NR) issu du latex ;
- le styrène-butadiène (SBR) ;
- le chloroprène (CR) ;
- l'éthylène-propylène-diène-monomère (EPDM) ;
- le polyéthylène chlorosulfoné (PECS), couramment appelé Hypalon.

4.1.4 Polymère

Le polymère, usuellement appelé fibre synthétique, présente des propriétés mécaniques et chimiques lui conférant une bonne résistance mécanique et une bonne adhérence avec l'élastomère.

Les polymères employés pour constituer les membranes des barrages gonflables sont :

- le polyester (PES) ;
- le polyamide (PA), plus connu sous le nom de nylon.

4.1.5 Éléments de dimensionnement des membranes de barrage gonflable

4.1.5.1 Calcul de la tension dans la membrane appliquée aux ancrages

Les justifications correspondantes sont à apporter par le concepteur du projet et/ou le fournisseur.

- différentes méthodes de calcul existent dans la littérature et permettent de dimensionner les barrages gonflables sans volets métalliques par détermination de la tension au sein de la membrane [M.Gebhardt-BAW].

  Une fois la tension au sein de la membrane calculée, un facteur correctif de l'ordre de 8 à 10 est pris en compte pour le dimensionnement de la membrane et des ancrages. La pression de service résultant du calcul permet ensuite de dimensionner le matériel connexe au barrage.

  A titre d'information, le tableau suivant donne des ordres de grandeur des pressions de service et des tensions au sein de la membrane et transmises aux ancrages (hors facteur correctif) pour un barrage gonflé à l'eau avec une charge d'eau amont égale à la hauteur utile, sans surverse :

Hauteur utile (m)	1	2	3
Pression interne (bar)	0.16	0.31	0.47
Tension au sein de la membrane (kN/ml)	5	20	45

- la méthode de calcul pour le BGVM repose quant à elle sur un bilan des forces et des moments appliqués au volet métallique en considérant la poussée hydrostatique amont, le poids propre du volet métallique et la pression exercée par le coussin sur le volet.

La pression du coussin ainsi déduite permet de déterminer la tension induite dans la membrane et les efforts dans les ancrages.

A titre d'information, le tableau suivant donne des ordres de grandeur des pressions de service et des tensions à reprendre par l'ancrage (hors facteur correctif) pour un BGVM avec une charge d'eau amont égale à la hauteur utile, sans surverse :

Hauteur utile (m)	1	2	3
Pression interne de service (bar)	0.4	0.75	1.0
Tension dans les ancrages (kN/ml)	10	40	65

4.1.5.2 Caractérisation des matériaux utilisés

Il n'a pas été recensé à ce jour de norme française permettant de caractériser strictement les matériaux des membranes utilisées dans le cadre de la technologie du barrage gonflable.

Les seules informations disponibles proviennent de fournisseurs qui se basent sur des tests normalisés utilisés dans l'industrie du caoutchouc pour caractériser leur élastomère.

EN SAVOIR PLUS : LES RECOMMANDATIONS SUR LES VOIES NAVIGABLES ALLEMANDES

Des tests ont été réalisés en Allemagne par le « Bundesanstalt für Wasserbau » (BAW) en vue d'installer des barrages gonflables sur plusieurs voies navigables.

Constitution de la membrane

Les tests dynamiques de pliage dans la durée (DIN ISO 132) montrent que la fatigue d'une membrane croit avec le nombre de nappes de textile.

A l'inverse, une membrane composée d'une seule nappe de textile n'est pas judicieuse si l'on prend en compte la problématique du vandalisme.

La membrane sera ainsi constituée (de l'extérieur vers l'intérieur) a minima :

- *d'une couche de caoutchouc de recouvrement ;*
- *d'une nappe de textile ;*
- *d'une couche intermédiaire de caoutchouc pour liaison ;*
- *d'une seconde nappe de textile ;*
- *d'une dernière couche de caoutchouc pour assurer l'étanchéité intérieure de la baudruche.*

Couche de recouvrement

*En raison d'une meilleure résistance aux sollicitations climatiques et à l'ozone, le « BAW » **recommande de n'utiliser que des caoutchoucs EPDM et CR pour la couche de recouvrement.***

Couche intermédiaire

*Afin d'assurer une bonne liaison des différentes couches, il est **recommandé** que l'épaisseur de cette couche soit au minimum de 1,5mm.*

Textile

Les nappes de textile doivent être constituées d'un réseau de fils de même nature (PA ou PES) tressés selon deux directions perpendiculaires. L'orientation des nappes doit être longitudinale et transversale à l'écoulement sur la baudruche.

Elles se caractérisent par une résistance à la traction longitudinale et transversale qui doit être justifiée par le fournisseur en fonction des contraintes du projet.

Durabilité

La durabilité de la membrane dépend de trois principaux facteurs auxquels une attention toute particulière sera apportée :

- *la résistance à l'abrasion ;*
- *la résistance à la séparation de l'élastomère et des nappes de tissus (recommandation : >4,5 N/mm selon la norme DIN 22109-2) ;*
- *la résistance à la déchirure.*

A noter qu'on préfèrera opter pour un matériau ayant une bonne résistance à l'abrasion en limitant ses émissions plutôt qu'à une épaisseur sacrificielle.

Durée de vie

La durée de vie des membranes généralement annoncée par les fournisseurs est de l'ordre de 30 ans. Les retours d'expérience sur quelques barrages réalisés dans les années 70-80 confirment cette valeur.

Le maître d'ouvrage doit définir la durée de vie qu'il souhaite, et le fournisseur devra apporter les éléments (résultats d'essais normalisés notamment) permettant d'évaluer la durée de vie potentielle de la membrane, dans les conditions d'utilisation et de maintenance propres au site, en tenant compte de la diminution de ses caractéristiques au cours du temps.

Des inspections périodiques permettront d'évaluer la possibilité de conservation d'une membrane au delà des 30 ans, ou, au contraire, la nécessité de son remplacement anticipé du fait de sollicitations particulières.

Exemples de caractéristiques de membrane

A titre indicatif, quelques tests ont été effectués sur des membranes de plusieurs fournisseurs (dénommés A, B, C, D et E) et donnent les résultats suivants :

Fournisseur		A			B	C	D	E
Epaisseur de membrane (mm)		9	12	15	14	8	6	12
Elastomère		SBR/NR			CR	SBR	CR	EPDM
Polymère		PA			PES	PA	PES	PES
Nombre de nappes de polymère		3			2	2	1	2
Résistance moyenne à la rupture (kN/m)	Longitudinale	593	338	433	422	540	225	550
	Transversale	173	320	366	340	196	114	364
Allongement moyen à la rupture (%)	Longitudinale	16	38	26	35	26	31	18
	Transversale	40	32	32	81	52	31	26

Récapitulatif des tests normés

Ces recommandations sont prises en référence aux normes allemandes. Des équivalents français existent, mais il n'est pas possible d'extrapoler les recommandations à celles-ci en raison des différences entre les essais, échantillons,…

Les références des normes françaises équivalentes sont renseignées à titre indicatif.

Propriétés	Normes	Intitulé de la norme	Recommandations	Normes françaises équivalentes
Dureté ShoreA	DIN 53505	Caoutchouc vulcanisé - Test de dureté Shore A	Données constructeur ±5	ISO 7619
Résistance à la déchirure	DIN 53504	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la résistance au déchirement	≥ 15 MPa	ISO 34-1
Déformation à la déchirure	DIN 53504		≥ 300%	ISO 34-1
Fluage en compression 168h/23°C 24h/70°C	ISO 815	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la déformation rémanente après compression	≤ 20 % ≤ 25 %	-
Résistance à la propagation de la déchirure	ISO 34-1	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la résistance au déchirement	≥ 8 kN/m	-
Vieillissement dû à la chaleur Modification de la dureté Rés. à la déchirure Déf. à la déchirure	DIN 53508 DIN 53505 DIN 53504 DIN 53504	Caoutchouc vulcanisé - Essais de résistance au vieillissement accéléré et à la chaleur	≤ +8 ≥ 10 MPa ≥300 %	ISO/FDIS 188 ISO 7619 ISO 34-1 ISO 34-1
Comportement à froid	DIN 53505	Caoutchouc vulcanisé - Test de dureté Shore A	≤ 35 ShoreA	ISO 7619
Comportement par vieillissement à l'ozone, 48h, 40°C, 50 ppcm*, 20% de déformation	DIN 53509	Caoutchouc vulcanisé - Essais de résistance au craquelage par l'ozone	Aucune fissure	ISO 1431-1
Fluage en traction 24h, 70°C, 100% de déformation	ISO 2285	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la déformation rémanente, de l'allongement et du fluage sous charge constante de traction	≤ 20 %	-
Résistance à l'eau 28j./50°C Modification de la dureté Modification du volume Rés. à la déchirure Déf. à la déchirure	DIN 86076 DIN 53505 DIN 53479 DIN 53504 DIN 53504	Caoutchouc vulcanisé - Résistance à eau de mer	< 5 ShoreA <10 % ≥ 10 MPa ≥ 300 %	ISO/FDIS 13226 ISO 7619 ISO 2781 ISO 34-1 ISO 34-1
Abrasion	ISO 4649	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la résistance à l'abrasion	≤ 160 mm^3	-
Masse volumique	DIN 53479	Caoutchouc vulcanisé - Détermination de la masse volumique	Valeur constructeurs ± 0.02g/cm^3	ISO 2781

4.2 Interface avec le génie civil

4.2.1 Radier

Le radier permet de reprendre les charges de la baudruche à proprement parler, les charges transmises par la bouchure et les sous-pressions. Il présente une face plane au droit de l'emprise de la membrane avec une éventuelle échancrure en partie aval afin que cette dernière puisse s'y déposer.

Le bord amont peut être légèrement surélevé pour pouvoir inscrire l'ancrage amont de la baudruche dans le génie civil.

Son épaisseur est fonction des charges nommées précédemment et de la géologie de fondation. Son dimensionnement se fera selon l'Eurocode 0, 1, 2 et 7 (voire selon le fascicule 62-Titre V dans le cas de fondations profondes en attendant l'actualisation de l'Eurocode 7, ainsi que selon l'Eurocode 8).

Les cas de charge suivants sont en particulier à étudier :

- batardage d'une passe avec une bouchure totalement dégonflée, notamment dans le cas du barrage gonflé à l'eau ➔sous-pression (soulèvement) ;
- bouchure gonflée, notamment dans le cas du barrage gonflé à l'eau, et prise en compte du poids d'eau ➔contrainte au sol.

L'épaisseur du radier sera également dépendante de la contrainte de passage des conduites d'air ou d'eau. A titre indicatif et sans considération ni des cas de charge précédemment cités, ni de la géologie de fondation, il est d'usage de considérer une valeur standard de :

- 1m d'épaisseur dans le cas des barrages gonflés à l'eau, pour des canalisations de l'ordre de 200 à 300mm de diamètre ;
- 0,6m à 0,8m d'épaisseur dans le cas des barrages gonflés à l'air, pour des canalisations de l'ordre de 50 à 100mm de diamètre.

Concernant l'emprise de la membrane, celle gonflée à l'air nécessite un périmètre de membrane moins important pour une même hauteur utile, en comparaison aux membranes gonflées à l'eau.

Cela résulte de la compressibilité de l'air qui permet de monter plus facilement en pression à l'intérieur de la membrane ainsi que du poids de l'eau qui s'exerce sur la paroi interne de la membrane.

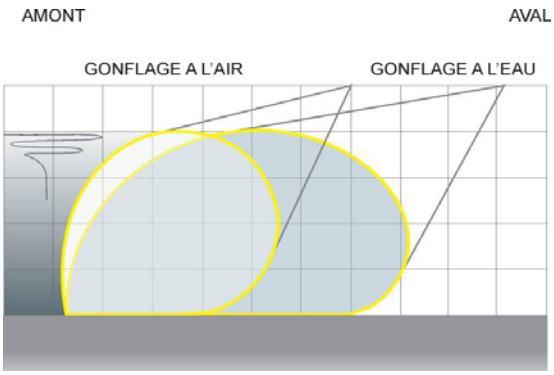


Figure 9 : Comparaison gonflage air/gonflage eau

Le radier d'un barrage gonflé à l'eau est donc plus large, de l'ordre de 2,4 fois la hauteur utile, afin de pouvoir accueillir sur sa surface la membrane dégonflée. Pour le gonflage à l'air ce rapport passe à 1,8.

Ces rapports peuvent être augmentés pour faciliter les opérations de maintenance, notamment pour la prise en compte d'un espace d'accès et de travail entre le batardeau de maintenance et le barrage.

4.2.2 Piles

Afin d'assurer l'étanchéité latérale de la baudruche, mais également de permettre un meilleur effacement en cas de crue, il est recommandé d'incliner les bajoyers des piles.

L'implantation d'un barrage gonflable sur des bajoyers verticaux est possible, cependant une inclinaison à une pente de 1H/3V est idéale. En effet, il faut trouver un compromis entre cette disposition de bajoyer incliné et l'emprise de la pile dans la rivière. L'absence de charge sur la pile permet de réduire la largeur en tête des piles à 0,5m, sauf exigence particulière d'exploitation.

Corrélativement, il est recommandé de soigner la forme du bord amont des piles afin de limiter les pertes de charge.

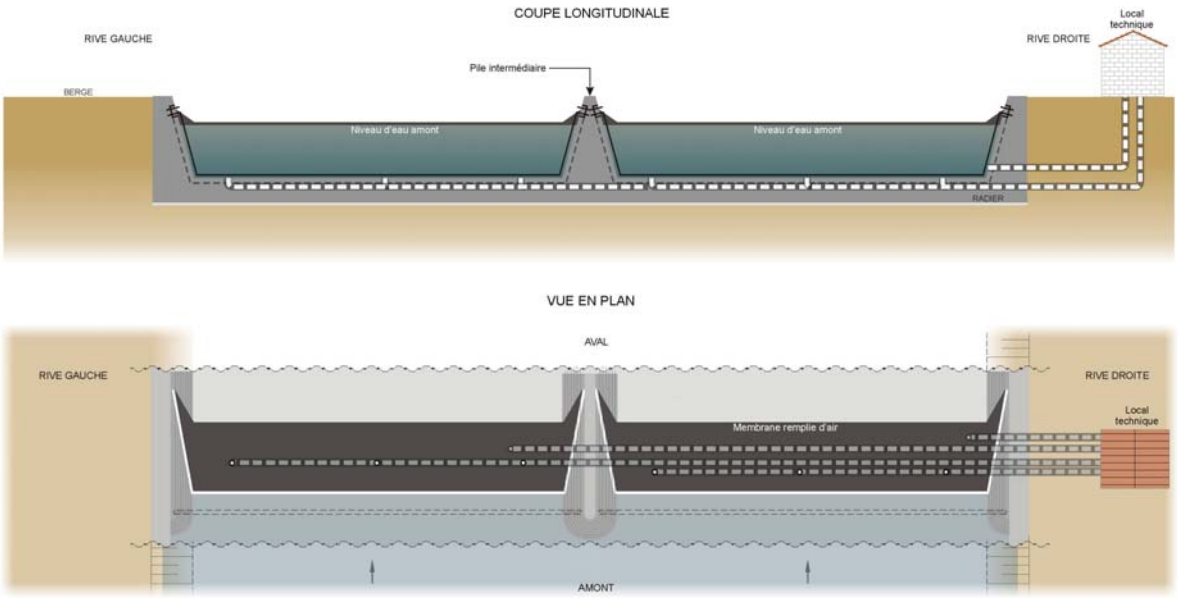


Figure 10 : Principe de configuration géométrique des piles

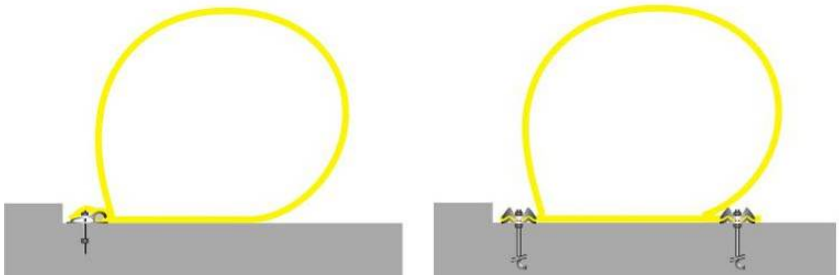
En règle générale, le dimensionnement des piles se fera selon l'Eurocode 0,1 et 2, … en prenant en compte le cas de charge où une passe serait batardée et sa voisine non (poussée hydrostatique la plus défavorable).

4.2.3 Ancrage

4.2.3.1 Gonflage à l'air

L'ancrage de la membrane sur la fondation en béton se fait par une ligne d'ancrage à l'amont de la baudruche qui est alors constituée d'une membrane repliée sur elle même.

En cas de hauteur d'eau aval importante, la nécessité d'ajouter une ligne d'ancrage à l'aval du barrage est à étudier afin de reprendre les efforts de traction induits. Cette seconde ligne d'ancrage ne permet pas de s'abstenir de l'installation d'une membrane plaquée au radier, qui est nécessaire afin d'assurer l'étanchéité de la baudruche et du pincement de la membrane par les ancrages.



Ancrage simple Ancrage double

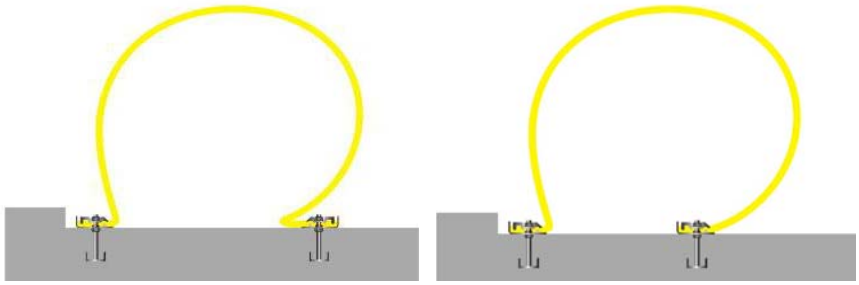
Figure 11 : Configurations des ancrages rencontrées pour le gonflage à l'air

4.2.3.2 Gonflage à l'eau

Les lignes d'ancrages de la membrane de barrages gonflés à l'eau sont doubles, mais la membrane n'est pas repliée sur elle-même, l'étanchéité inférieure de la baudruche est alors assurée par le seuil en béton.

Dans le cas de faibles hauteurs de barrage (<1m), une seule ligne d'ancrage et une membrane repliée sur elle-même peuvent être envisagées, moyennant une justification de la reprise des efforts.

La ligne d'ancrage aval peut être positionnée à l'intérieur ou à l'extérieur de la baudruche selon les dispositions constructives propres aux fournisseurs consultés. Le choix de s'orienter vers l'une ou l'autre de ces solutions est essentiellement lié à d'éventuelles contraintes d'emprise lors de l'installation. L'ancrage à l'extérieur présente l'avantage de faciliter la vérification de cette partie d'ouvrage lors des inspections.



Ancrage aval extérieur Ancrage aval intérieur

Figure 12 : Configurations des ancrages rencontrées pour le gonflage à l'eau

4.2.3.3 *Type d'ancrage*

La membrane est pincée par une pièce métallique (clamp). Ce pincement s'effectue soit au niveau d'une pièce cylindrique (ralingue) située en bout de membrane, soit directement sur le corps de la membrane, elle est alors traversée par l'ancrage, soit les deux. Le type d'ancrage peut varier en fonction des fournisseurs, ces derniers ayant pu développer des systèmes qui leur sont propres.

Les schémas ci-dessous illustrent les principes d'ancrages actuellement recensés. La géométrie des pièces métalliques peut varier en fonction de la hauteur du barrage et des efforts à reprendre.

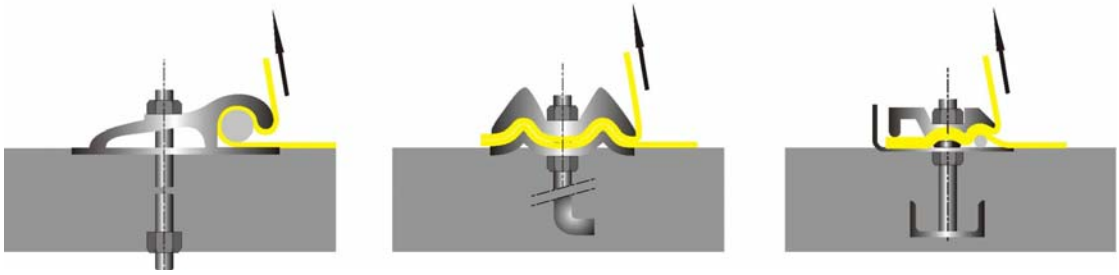


Figure 13 : Types d'ancrages 1- avec ralingue 2- dans le corps de la membrane 3- dans le corps de la membrane et avec ralingue

4.2.3.4 *Eléments de dimensionnement*

Les ancrages sont dimensionnés selon les contraintes de cisaillement et les efforts de traction.

Ces efforts sont induits par la membrane soumise à sa pression interne et aux poussées hydrostatiques.

Le dimensionnement des ancrages s'effectue ensuite selon l'Eurocode 3.

4.2.4 Fosse de dissipation

De la même manière que pour les autres systèmes de bouchure fonctionnant en surverse, le barrage gonflable nécessite l'aménagement d'un ouvrage de dissipation à l'aval du barrage afin de limiter les affouillements de pied.

Les bouchures gonflables ne disposent pas d'une fosse au sein du radier comme c'est le cas pour les bouchures de type clapet : le besoin de dégonfler la membrane sur un radier plan n'autorise pas cette réservation dans le génie civil. De plus, cela aurait présenté l'inconvénient de former un piège à embâcles sous la baudruche. La principale disposition constructive observée sur les ouvrages actuellement en service est l'aménagement d'une protection du lit de la rivière en aval immédiat du radier.

Du fait de l'énergie de la chute au pied du barrage, notamment lorsque le niveau d'eau aval est faible, une attention particulière doit être portée à l'interface membrane-béton : résistance à l'abrasion du génie civil ou protection de la face extérieure de baudruche en contact avec le radier.

Certains fournisseurs proposent à cet effet la pose d'un « tapis » de protection en élastomère plaqué sur le béton au pied du barrage.

4.3 Gonflage / Dégonflage

4.3.1 Air

Le gonflage de la membrane se fait au moyen d'un compresseur situé dans une infrastructure simple et unique (un seul local technique en rive peut convenir pour tout le système). Ce compresseur alimente la membrane en air à l'aide d'une ou plusieurs conduites dont les entrées sont réparties sur le linéaire de la baudruche. Il permet également la vidange de la baudruche à l'aide d'une conduite de vidange. Les conduites seront de préférence en inox.

Afin de récupérer les eaux de condensation présentes dans le circuit, les canalisations présentent une légère pente orientée vers la rive pour permettre des opérations de purge et éviter toute obstruction du circuit d'air.

Ce compresseur peut être manœuvré manuellement ou automatiquement. Le système d'automatisme recommandé consiste à mettre en place un capteur de pression mesurant la pression interne de la baudruche, et à entrer une consigne d'une pression basse entrainant le démarrage du compresseur (pour pallier d'éventuelles fuites), et d'une pression haute (de service) entrainant l'arrêt du compresseur.

Lorsque les passes d'un barrage doivent fonctionner de manière indépendante, chaque passe ou groupe de passes devra comporter son propre circuit d'alimentation.

La régulation s'effectue par la mise en place d'une mesure de niveau amont pouvant entrainer la vidange partielle ou totale de la baudruche, en cas de crue par exemple, ainsi que le gonflage selon les variations du niveau d'eau.

La pression interne de la membrane est fonction de la hauteur d'eau retenue par le barrage. A titre indicatif, elle est de l'ordre de 0,1 bar par mètre d'eau. Cette pression doit être définie par le concepteur pour prendre en compte les différents cas de charge qui s'appliqueront au barrage.

La garantie d'une vidange complète de l'air contenu dans la bouchure lors d'un effacement total en crue nécessite l'étude de dispositions constructives particulières (nombre et positionnement des départs de vidange par exemple).

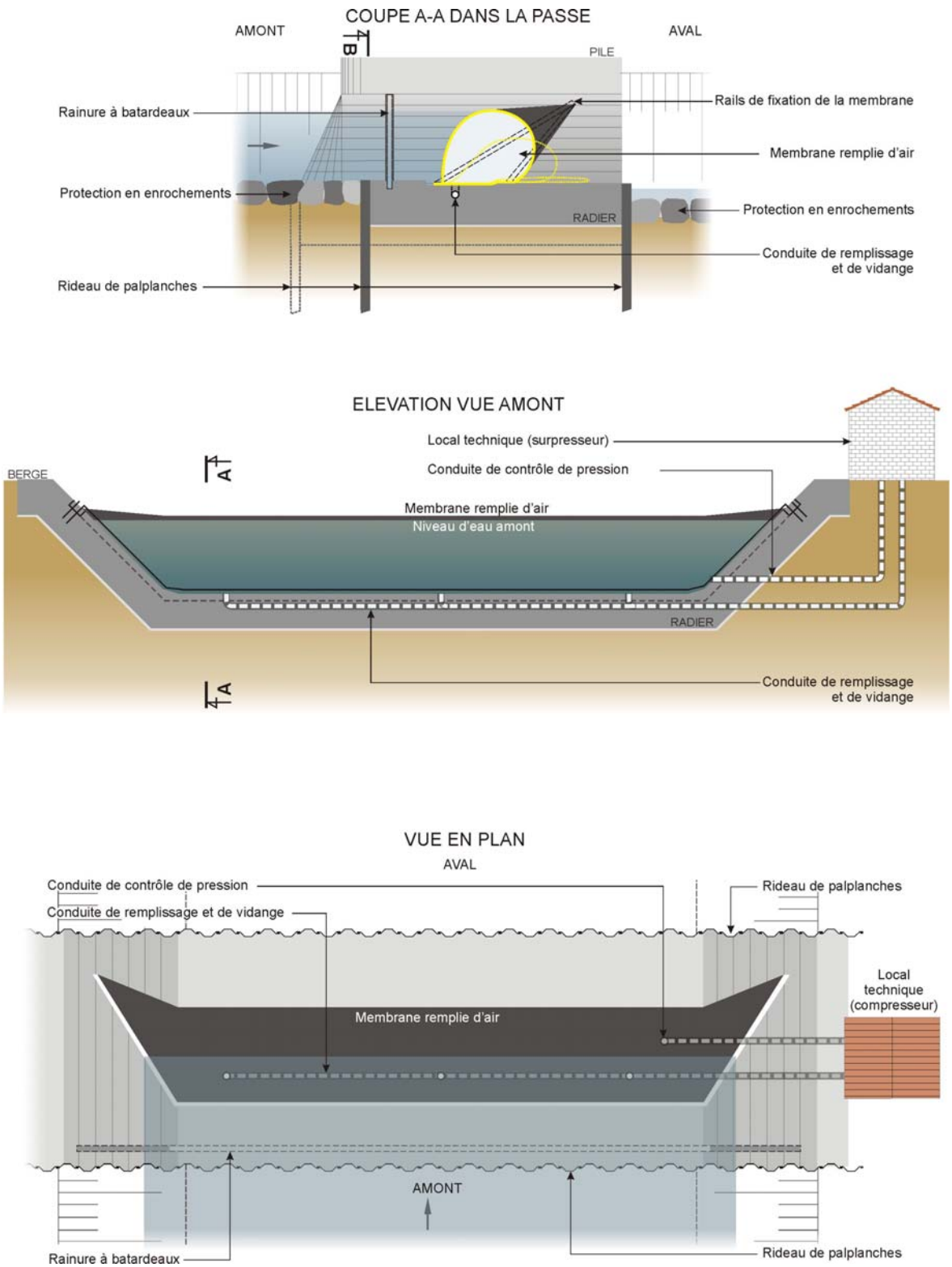


Figure 14 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'air

4.3.2 Eau

Le gonflage à l'eau se base sur le principe des vases communicants. Le principe de fonctionnement peut varier d'un fournisseur à l'autre.

Pour l'exemple du schéma qui suit, représentant un cas courant de local technique, un premier puits permet de collecter l'eau de la rivière. Un pompage permet de rehausser le niveau d'une seconde colonne d'eau qui est en relation avec la membrane au moyen d'une conduite d'amenée entraînant son remplissage. La hauteur d'eau dans cette colonne est de l'ordre de 1,6 fois plus élevée que la hauteur utile de la baudruche.

La vidange fonctionne de la même manière avec la mise en communication de la membrane avec une troisième colonne dont le niveau peut être contrôlé au moyen d'une vanne. Une quatrième colonne d'eau permet la vidange complète de la membrane. Celle-ci est engagée gravitairement dès lors que la vanne de vidange est ouverte et qu'il existe une différence de charge entre l'amont et l'aval du barrage.

La garantie d'une vidange complète de l'eau contenue dans la bouchure lors d'un effacement total en crue nécessite l'étude de dispositions constructives particulières : nombre et positionnement des départs de vidange par exemple.

Le temps de dégonflage peut être réduit et maîtrisé par mise en place d'un pompage dans la quatrième colonne. Cette disposition est à étudier lorsque le niveau d'eau au point de rejet aval est susceptible d'être élevé.

Ce système comporte autant de colonnes de remplissage (seconde colonne) et de régulation (troisième colonne) que de passes, lorsqu'il est nécessaire de les manœuvrer de manière indépendante. Le local technique en rive est d'un gabarit plus important que celui d'un système de gonflage à l'air : sa profondeur doit atteindre un niveau inférieur à celui du radier du barrage.

Les conduites utilisées pour le gonflage à l'eau sont de dimensions plus importantes que pour le gonflage à l'air (100 à 300mm), et sont constituées de ce fait suivant les projets en PVC ou PEHD.

Afin de récupérer l'air qui serait présent dans le circuit, la bouchure est généralement équipée de systèmes de purges aux points hauts de la membrane.

La forme de la membrane gonflée à l'eau est ovalisée en raison du poids plus important de l'eau qui s'équilibre avec la poussée d'eau à l'amont.

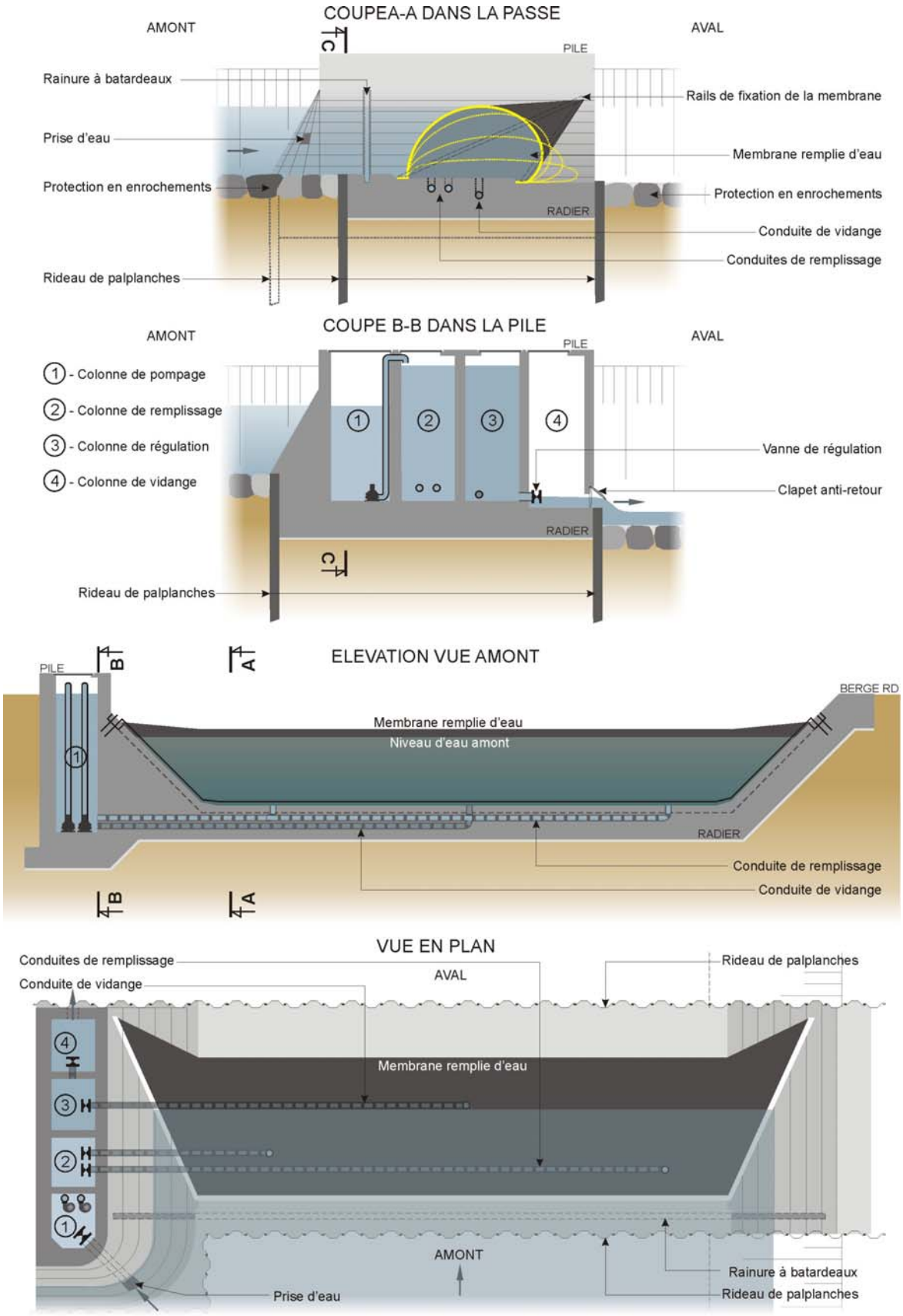


Figure 15 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'eau

4.3.3 Air/Eau

Ce type de gonflage est en comparaison de ceux qui précèdent très peu répandu puisque cinq barrages équipés de cette technologie ont pu être recensés dans le monde.

L'intérêt de ce mode de gonflage permet de bénéficier des avantages du gonflage à l'eau, notamment dans sa capacité à mieux réagir aux sollicitations hydrodynamiques, et de la possibilité de limiter la taille de la membrane en complétant son remplissage à l'air.

Ce type de gonflage semble avoir été développé pour l'aménagement de barrages spécifiques : barrage de Ramspol aux Pays-Bas, servant de barrière de protection contre les fortes marées par exemple.

Son intérêt éventuel pour le projet est à justifier par le concepteur.

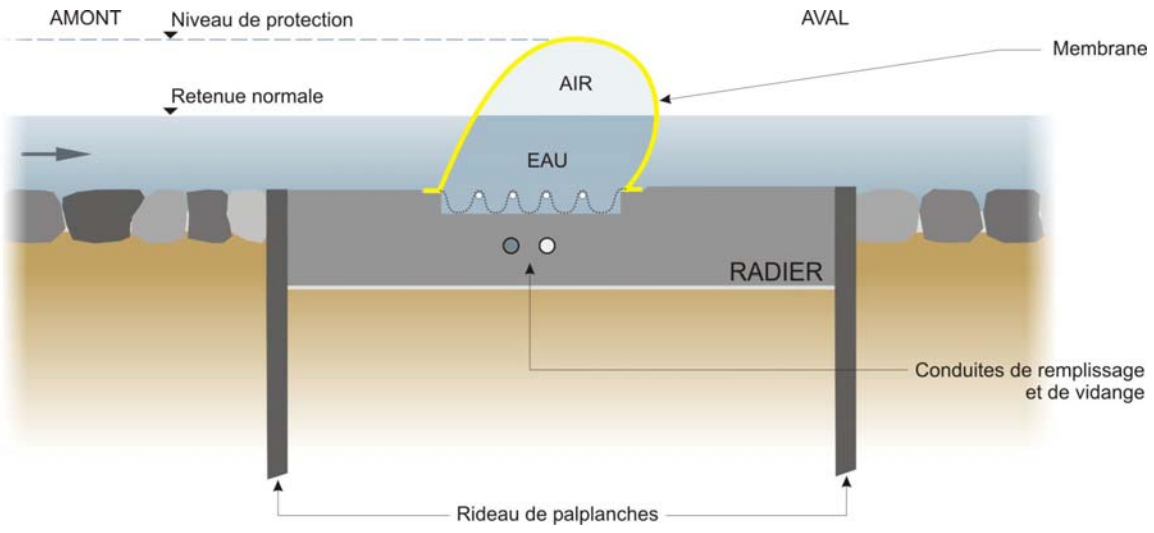


Figure 16 : Principe du gonflage à l'air/eau

4.4 Les spécificités du Barrage Gonflable à Volets Métalliques

Nota : le « principe » du barrage gonflable à volets métalliques est aujourd'hui libre de droit. Cela reste récent et implique que la grande majorité des ouvrages de ce type actuellement en service ont été produits par la firme détentrice du brevet « Obermeyer Inc. ».

Les développements technologiques de ce type de barrage installés durant les vingt dernières années, dont certains sont présentés ci-dessous, ont par conséquent été portés principalement par ce fournisseur, ainsi que par la société Hydro Air Bank.

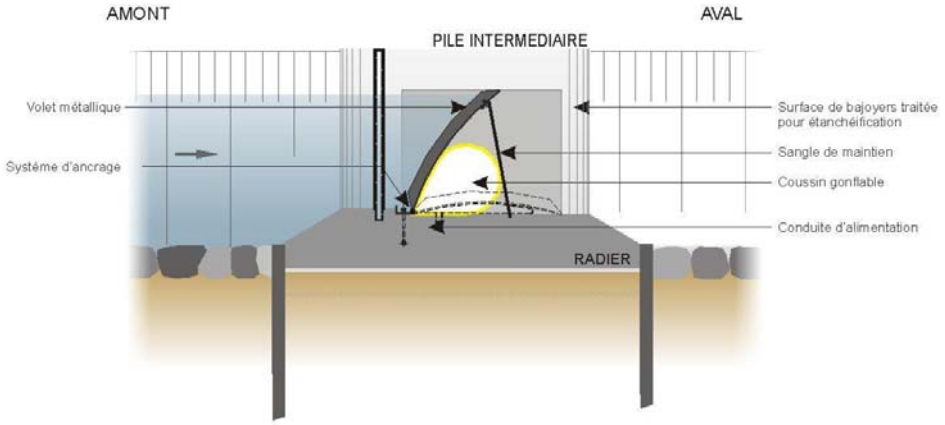


Figure 17 : Illustration du BGVM

Il existe à ce jour plusieurs principes d'associations volets/coussins (qu'il y ait un ou plusieurs lits de coussins superposés) :

- plusieurs volets manœuvrés par plusieurs coussins ;
- plusieurs volets manœuvrés par un seul coussin.

4.4.1 Cas de volets manœuvrés par des coussins indépendants

Dans le cas d'une bouchure constituée de volets manœuvrés par plusieurs coussins à raison d'un coussin par volet, on parle de modules indépendants. Un module est composé des sous-ensembles suivants :

- un volet métallique ;
- un coussin gonflable ;
- un ensemble ancrage/articulation ;
- des sangles de maintien ;
- un brise-lame.

L'ensemble ancrage/articulation permet à la fois de fixer la membrane à la fondation et d'accueillir l'articulation du volet.

Les sangles de maintien permettent d'éviter au volet de se renverser vers l'amont et permettent de maintenir le volet contre le coussin.

Le BGVM se fait habituellement à l'air. Les pressions de service sont de l'ordre de 0,4 à 1bar pour les dimensions d'ouvrages classiques type VNF.

Les pressions maximales admissibles sont souvent plus importantes, de l'ordre de 1 à 2bars, en raison de la prise en compte de charges accidentelles, telles que l'affaissement d'un coussin et le maintien du volet attenant par ses voisins, le non-affaissement de la bouchure lors d'une crue, la formation d'une couche de glace à l'amont du volet, …

Pour des hauteurs supérieures à 4,5m, le fournisseur Obermeyer propose un doublement des coussins afin de limiter la pression à l'intérieur de chaque baudruche.

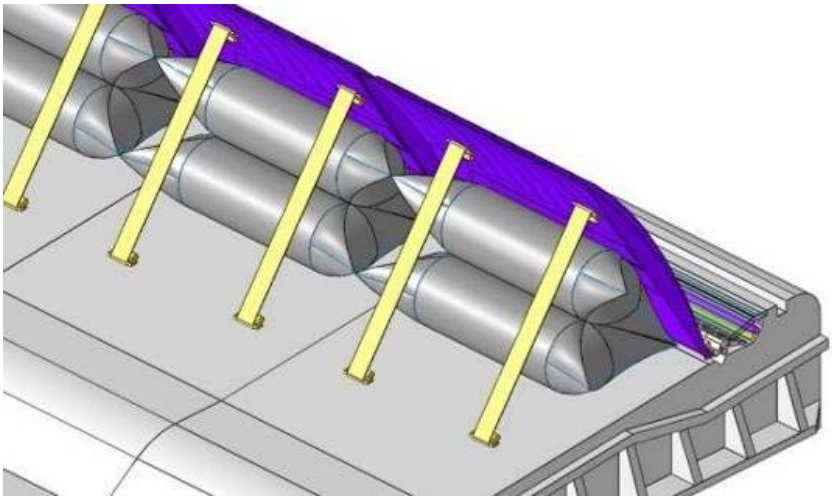


Figure 18 : Illustration d'un BGVM à double chambre [Source Dyrhoff]

Le génie civil diffère d'un barrage gonflable en raison des charges plus localisées appliquées au radier du fait de la présence des volets, mais surtout en raison des bajoyers verticaux des piles et culées.

Du fait de l'indépendance des modules, la mise en œuvre de piles intermédiaires n'est pas strictement nécessaire, ce qui présente l'avantage d'équiper des passes de longueur importante, dans la mesure où cela reste compatible avec les besoins et possibilités de batardage.

Afin assurer l'étanchéité sur tout le linéaire du barrage, deux solutions sont envisageables :

- soit les modules fonctionnent indépendamment les uns des autres, dans ce cas les volets doivent comporter sur leur bords latéraux un contreplat métallique d'un coté et un joint, type note de musique, de l'autre ;
- soit les modules d'une passe fonctionnent ensemble, dans ce cas l'étanchéité est assurée par la mise en place d'un joint en caoutchouc armé fixé à chaque volet adjacent.

A noter que dans le premier cas, les frottements occasionnés lors de manœuvres engendrent un couple de torsion dans les volets métalliques qu'il convient de prendre en compte lors de leur dimensionnement.

Dans le second cas, le joint inter-volet n'est souvent pas dimensionné pour permettre à un volet d'être soutenu par les deux volets voisins dans le cas d'un incident sur le coussin ayant engendré son dégonflement. Il est dans ce cas préconisé de développer un dispositif pour pallier ce cas accidentel (liaison renforcée des panneaux entre eux comme c'est le cas pour le barrage BGVM d'Auxonne par exemple).

Il est également nécessaire de mettre en place un joint en caoutchouc armé plat au droit des volets formant les extrémités du barrage, et de traiter les bajoyers au niveau du contact avec le volet métallique, pour assurer l'étanchéité latérale de la bouchure. Les différents procédés recensés sont :

- la mise en place d'un plat métallique en acier inoxydable, associé à un système de chauffage en cas de gel ;
- la mise en place d'un plat en polyéthylène ;
- un traitement fin du béton des bajoyers, complété ou non d'un revêtement en résine d'époxy.

Dans le cas de la mise en place de plat en polyéthylène, une attention particulière sera portée sur le scellement du plat sur le génie civil et sa tenue dans le temps.

4.4.2 Cas de volets manœuvrés par un unique coussin

Le BGVM peut également être constitué de plusieurs volets liés entre eux par des joints plats en caoutchouc armé et d'un unique coussin de grande longueur. La conception est, à ce détail près, en tout point similaire.

Ceci permet notamment une meilleure répartition des charges et une pression de remplissage a priori plus faible. En revanche, une avarie sur le coussin monopolisera un plus grand linéaire de barrage par rapport à une solution modulaire.

Cette pression plus faible permet notamment de pouvoir utiliser l'eau comme fluide de remplissage.

4.5 Adaptation du génie civil existant

La réutilisation de génie civil existant est assez fréquente pour la technologie gonflable. En effet, sa mise en place intervient souvent en remplacement d'un autre type de bouchure (clapet, aiguilles,…).

Ceci ne nécessite généralement pas de modifications majeures sur le génie civil existant. Le barrage gonflable permet l'économie d'un organe de manœuvre lourd (vérin, treuil,…), souvent positionné au niveau des piles. La descente de charge sur le génie civil est mieux répartie.

De manière générale, lorsque une partie du génie civil existant peut être conservée, une réflexion est à mener pour adapter le format des vérifications à produire pour atteindre le niveau de fiabilité fixé par le maître d'ouvrage.

En effet, l'application des codes de calcul pour une structure neuve sans adaptation peut conduire à une impossibilité de justifier le génie civil conservé.

Sur la base des éléments d'appréciation fournis par le maître d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage doit évaluer et assumer ses risques et responsabilités lors de la réutilisation du génie civil, notamment dans la conformité vis à vis des documents disponibles.

Les aménagements à prévoir sont :

- adaptation des piles :
  - dans le cas des barrages gonflables, et selon l'état des piles, l'aménagement des bajoyers inclinés peut nécessiter une déconstruction partielle des piles, l'ajout de béton, voire la déconstruction complète de la pile. La réutilisation d'un génie civil existant dans une emprise limitée peut contraindre à adapter la baudruche sur des bajoyers verticaux, engendrant la formation d'un pli pouvant se situer sous la cote de retenue de la baudruche, qui peut être à prendre en compte dans la définition de la hauteur utile de la bouchure ;

Figure 19 : Barrage de Turkheim (Allemagne) – Formation d'un pli sur bajoyers verticaux

    Ce pli s'observe principalement pour les barrages de grande hauteur. Il n'est pas rare d'adopter des bajoyers verticaux pour les barrages de hauteur inférieure à 1m pour lesquels cette sujétion devient mineure ;
  - dans le cas des BGVM, seule la surface de contact du volet sur le bajoyer est à adapter ;
- réalisation de réservations dans le radier, les culées et les piles pour permettre le passage des conduites d'alimentation et l'implantation des boulons d'ancrage ;
- adaptation du radier pour pouvoir accueillir la bouchure en position dégonflée (voire §4.2.1). A noter qu'en fonction de l'état du radier et de son épaisseur, des injections, des ancrages voire des ajouts de béton peuvent s'avérer nécessaires ;
- injection des ancrages et adaptation de leurs dimensions (diamètre, longueur) pour s'assurer de la reprise des efforts de traction induits par la membrane ;
- réalisation ou adaptation de rainures à batardeaux.

Préalablement à ce choix de réutilisation, il sera nécessaire d'étudier les points suivants :

- les conditions de fondation ;
- la qualité des matériaux utilisés pour le génie civil (état des bétons, des maçonneries,…) ;
- la conception de l'ouvrage existant.

Pour cela, les plans d'archive (constitution du radier, présence de parafouilles,…) mais également des essais géotechniques et des reconnaissances particulières (investigations sur les matériaux, conformité des plans,…) seront utiles afin de juger de l'état du génie civil et de l'opportunité de sa réutilisation.

5. Dispositions constructives particulières

Ce chapitre présente de façon succincte les principales dispositions constructives recensées sur les barrages actuellement en service. Ce descriptif permettra au Maître d'Ouvrage de mieux comprendre leur raison d'être et d'identifier leur éventuel intérêt pour le projet.

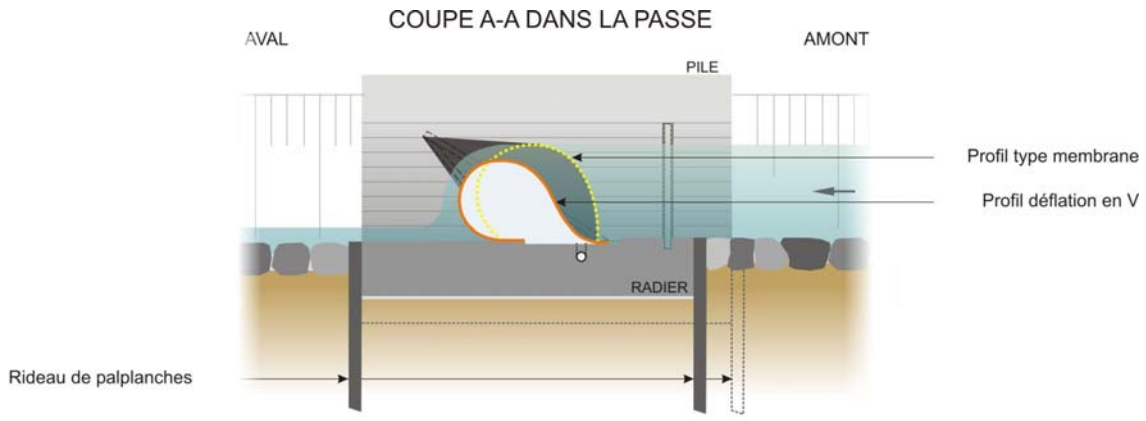
5.1 Mise en œuvre de déflecteurs

La mise en œuvre de déflecteurs sur les bouchures gonflables permet d'améliorer notablement leur stabilité face aux écoulements (risques de vibration notamment). Ils sont soumis à des sollicitations continues et doivent être constitués de matériaux résistants (polyuréthane ou élastomère résistant à l'abrasion). Ils sont généralement apposés par vulcanisation sur la face extérieure de la membrane une fois celle-ci assemblée.

La mise en œuvre de déflecteurs sur les bouchures gonflables est a priori indispensable pour les usages attendus par VNF, à savoir pour tout barrage fonctionnant sous des hauteurs de surverse relativement importantes. Leur absence est à justifier impérativement par le concepteur.

5.1.1 BG gonflé à l'air

Le phénomène de V-notch est le principal phénomène identifié sur les barrages gonflés à l'air. Il se caractérise par une déflation locale de la baudruche en forme de V.



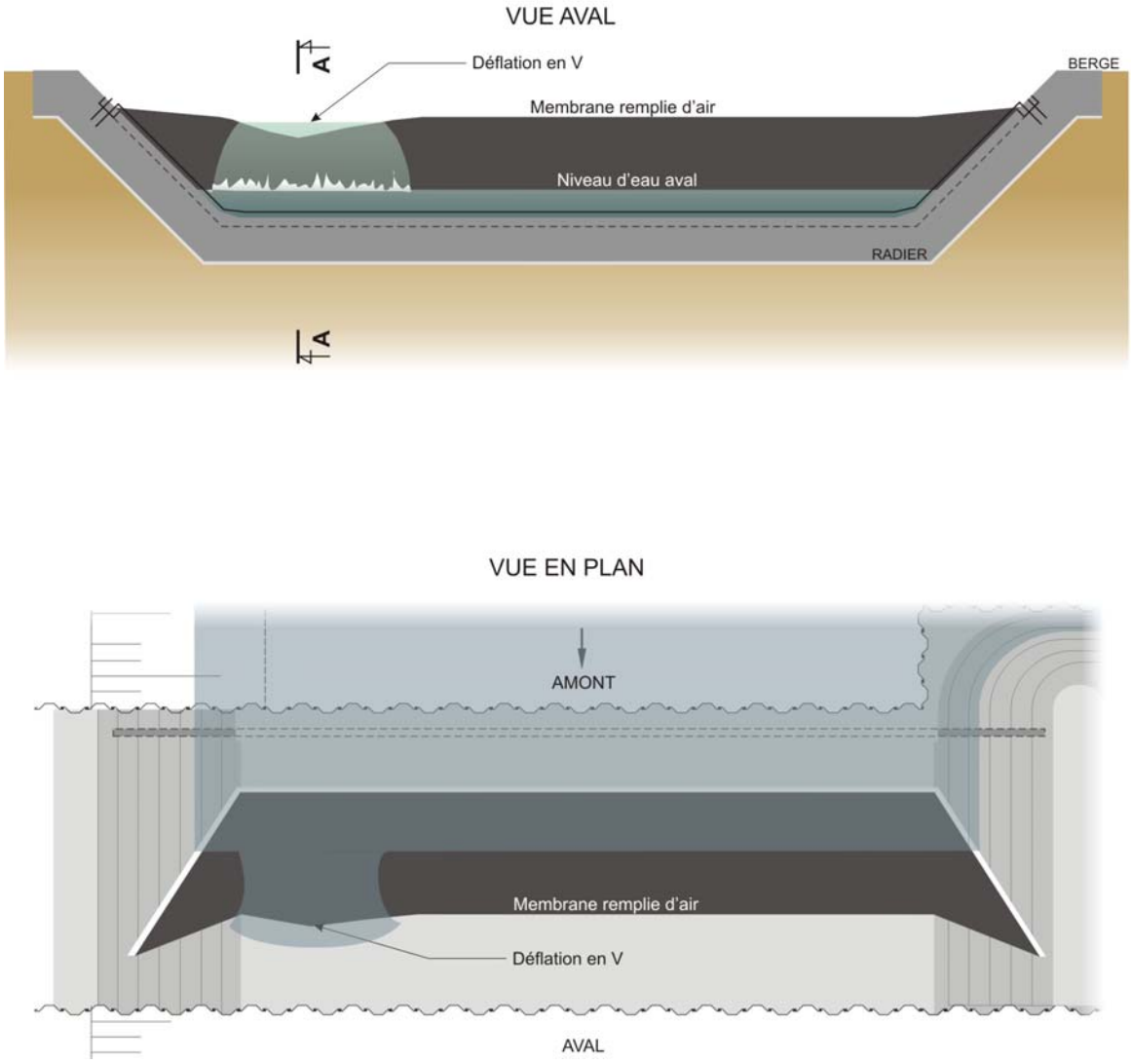


Figure 20 : Illustration du phénomène de V-notch

Il se produit lorsque la lame d'eau devient trop importante par rapport à la hauteur du barrage (de l'ordre de 10 à 20%), soit du fait d'une montée du plan d'eau, soit du fait du dégonflage de la baudruche. Ce phénomène se produit le plus souvent à proximité d'une culée sans pour autant que cela soit systématique :

Figure 21 : Photo du phénomène de V-notch - Barrage de Turkheim (Allemagne)

Il ne semble pas être rédhibitoire à l'installation de ce type de barrage. La régulation est fine pour une petite gamme de débits (hauteur de surverse de l'ordre de 10 à 20%) et ne semble pas entachée par l'apparition du V-notch. Par contre, le contrôle du débit transité est dans ce cas assez laborieux.

Le phénomène de V-notch peut être limité par la mise en place de déflecteurs type bec-verseur et d'un système d'aération de la sous-face de la lame déversante qui permet de décoller la lame d'eau de la paroi aval et limite les sous-pressions pouvant accentuer le phénomène :

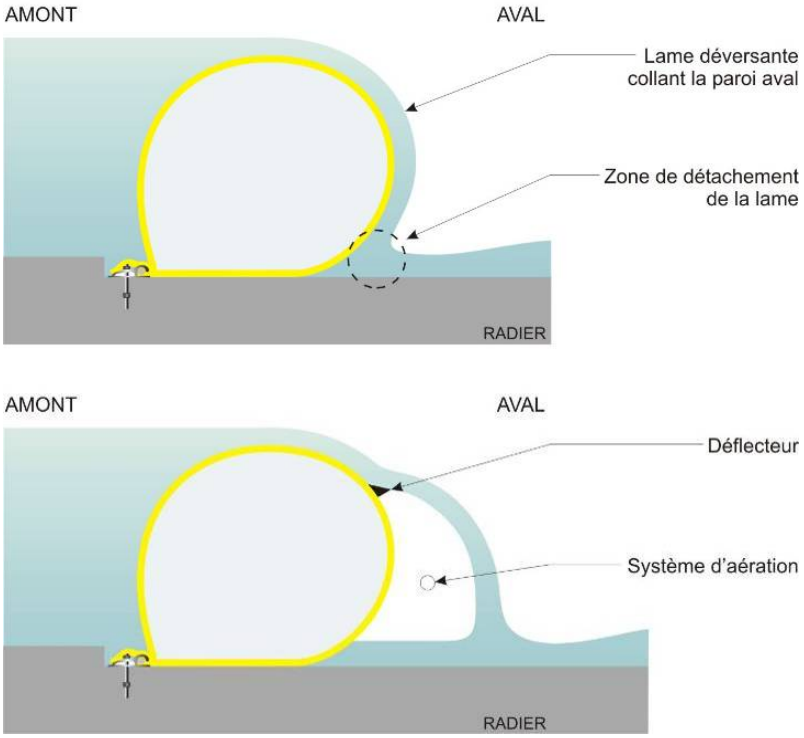


Figure 22 : Illustrations de l'effet d'un déflecteur type bec-verseur

Figure 23 : Photo d'un déflecteur type bec-verseur - Barrage de Kiebingen (Allemagne)

5.1.2 BG gonflé à l'eau

Concernant les barrages gonflés à l'eau, le phénomène parfois observé est un phénomène vibratoire que l'on peut associer à un « ballotement » de l'ensemble du barrage sous certaines contraintes hydrauliques, pour des hauteurs aval importantes.

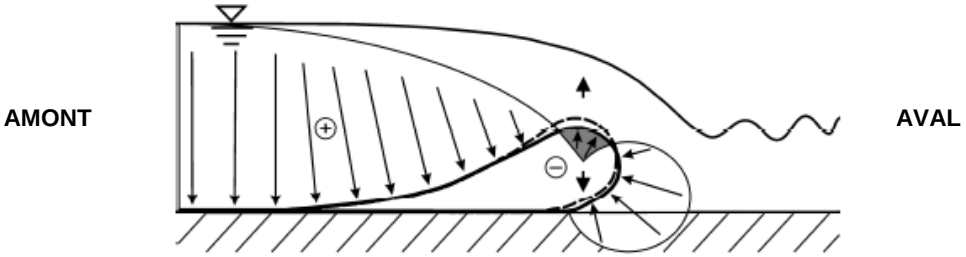


Figure 24 : Phénomène vibratoire pour le barrage gonflé à l'eau

Des essais réalisés sur les voies navigables allemandes ont permis de montrer que la mise en place de déflecteurs de type brise-lames à raison d'un tous les mètres permet d'annihiler ce phénomène.

Il est préconisé de mettre en place ces déflecteurs selon deux positions sur le profil en travers, et en alternance dans le sens longitudinal, afin de leur permettre d'être fonctionnels quel que soit le degré de dégonflage de la baudruche. Ce positionnement devra également permettre aux déflecteurs d'être sur la face supérieure de la baudruche une fois totalement dégonflée.

Figure 25 : Déflecteurs type brise-lame [source BAW]

5.1.3 BGVM

La mise en œuvre de déflecteurs sur les volets métalliques est recommandée. Dans le cas d'un barrage partiellement gonflé et pour des niveaux aval bas, la surverse sur le barrage peut provoquer des phénomènes vibratoires en l'absence de déflecteurs type brise-lame.

5.2 Dispositifs de sécurité de fonctionnement

La mise en œuvre de ces dispositifs de sécurité apporte une meilleure fiabilité au barrage, mais a un coût. Chaque dispositif est à considérer au cas par cas, suivant les conditions de fonctionnement du barrage et de son environnement.

Plusieurs dispositifs de sécurité sont recensés afin de pallier certains évènements accidentels. Cette liste ne se veut pas exhaustive :

- **non-effacement en cas de crue :** un système mécanique simple peut être mis en place afin de vidanger le barrage en cas de montée importante du niveau amont sans réaction du barrage. A l'aide d'un flotteur relié au niveau de la cote d'eau considérée comme critique, une vanne ou un évent s'ouvre pour permettre de laisser échapper l'eau ou l'air de remplissage : le barrage s'efface pour laisser passer la crue ;

- **sur-gonflage :** en cas de défaut du système de contrôle/commande (pompe en marche continue, défaut d'un capteur,…), un dispositif peut être mis en place afin d'éviter un sur-gonflage de la baudruche. Pour le gonflage à l'air, cela consiste en la mise en place d'une soupape en liaison avec la baudruche qui libère l'air en cas de pression trop importante. A noter qu'une pression trop importante peut également être engendrée par de fortes températures extérieures, auxquelles le barrage gonflé à l'air est sensible. Pour le gonflage à l'eau, un système de surverse dans la colonne de régulation limite la hauteur d'eau et donc la pression dans la baudruche ;

- **défaut du système d'alimentation :** en cas de panne d'un compresseur, de défaut de capteurs, etc., un système de by-pass permet de solliciter un système d'alimentation de secours, ou le système d'alimentation d'une autre passe du barrage dans le cas où le barrage comporterait plusieurs passes alimentées de manière indépendante ;

- **gel des eaux de remplissage :** pour les barrages gonflés à l'eau, l'exposition de la baudruche sans surverse à des épisodes de grand froid peut engendrer le gel des eaux de remplissage en surface. Afin d'éviter le phénomène, des cycles de circulation des eaux peuvent être déclenchés régulièrement afin d'éviter la prise du gel, y compris dans les colonnes d'eau. Même dans des zones sensibles aux grands froids, il n'a pas été constaté de système fonctionnant avec des produits antigel, ces derniers pouvant poser des problèmes de pollution de l'eau ;

- **passage embâcles roulants :** les fournisseurs proposent des dispositions constructives ou des renforts au niveau de la membrane composant la baudruche afin de protéger les ancrages contre les chocs ou de limiter le poinçonnement de la membrane contre le radier ;

- **tapis de protection aval radier :** certains fournisseurs proposent la mise en œuvre d'un tapis de protection disposé sur le radier pour protéger la sous face de la membrane vis à vis du risque de poinçonnement sur un génie civil dégradé.

5.3 Dispositifs pour l'exploitation

5.3.1 Capteurs

Les barrages gonflables avec ou sans volets métalliques visités pour l'élaboration de ce guide sont a minima équipés des capteurs suivants. Le nombre et le type de capteurs peut évoluer suivant les contraintes de chaque projet, notamment pour assurer une redondance entre eux et garantir une meilleure fiabilité d'ensemble.

5.3.1.1 Barrage gonflé à l'air

Généralement, les capteurs nécessaires au barrage gonflé à l'air sont :

- un manomètre mesurant la pression à l'intérieur de la baudruche, ce manomètre étant situé dans le local de commande ;
- un capteur de mesure du niveau amont ;
- un capteur de mesure du niveau aval ;
- un capteur de température à l'intérieur de la baudruche ;
- un capteur d'hydrométrie à l'intérieur de la baudruche.

5.3.1.2 Barrage gonflé à l'eau

Généralement, les capteurs nécessaires au barrage gonflé à l'eau sont :

- un capteur de mesure du niveau amont ;
- un capteur de mesure du niveau aval ;
- un capteur de mesure du niveau à l'intérieur de la colonne de remplissage/régulation ;
- un capteur de degré d'ouverture de la vanne de vidange.

Dans le cas de risque de gel des eaux de remplissage, il est également nécessaire de prévoir :

- des capteurs de température de l'air extérieur, de l'eau de la retenue amont et de l'eau de remplissage de la baudruche.

5.3.1.3 BGVM

Les capteurs nécessaires au BGVM sont :

- un manomètre, situé dans le local de commande, et mesurant la pression à l'intérieur des coussins ;
- un capteur de mesure du niveau amont ;
- un inclinomètre relié aux volets métalliques dans le cas où l'inclinaison des volets est une donnée d'entrée pour la régulation du plan d'eau ;
- un capteur de mesure du niveau aval ;
- un capteur de température de l'air à l'intérieur des coussins ;
- un capteur d'hydrométrie à l'intérieur des coussins.

5.3.2 Système de purge

La mise en œuvre d'un système de purge du système de gonflage est à prévoir systématiquement. A défaut, son absence est à justifier impérativement par le concepteur.

5.3.2.1 Barrage gonflé à l'air

Le système de purge consiste à extraire les eaux de condensation présentes au sein de la baudruche en ouvrant momentanément la vidange. Pour cela, une pente très faible est appliquée aux canalisations d'alimentation en air afin de créer un point bas au niveau des rives. Il est également possible d'équiper le barrage d'un dispositif complémentaire type assécheur d'air.

5.3.2.2 Barrage gonflé à l'eau

Le système de purge consiste à extraire de l'air qui se serait introduit dans la baudruche et qui engendrerait un matelas en partie haute des baudruches pouvant nuire à la régulation du plan d'eau.

Pour cela il est possible de mettre en place un système de tuyauterie souple au sein de la baudruche dont l'extrémité est positionnée en partie haute de la membrane afin d'extraire cet air.

Une autre solution, plus rudimentaire et probablement moins appropriée aux standards de sécurité sur le réseau des Voies navigables de France, consiste à mettre en place un orifice, équipé d'un bouchon, en position haute de la baudruche, que l'exploitant ouvre périodiquement afin d'effectuer l'opération de purge, sous réserve de son accessibilité.

5.3.2.3 BGVM

Les BGVM peuvent être équipés de systèmes de purge similaires au système de purge des barrages gonflés à l'air. Il est également possible d'équiper le barrage d'un dispositif complémentaire type assécheur d'air.

Dans le cas d'un barrage gonflable à volets métalliques actionné par une membrane gonflée à l'eau, un système de purge d'air est à prévoir.

5.3.3 Temps de gonflage/dégonflage

La définition du temps de gonflage/dégonflage est fonction des enjeux propres à chaque aménagement, de la technologie employée et des dimensions de l'ouvrage. Des dispositions constructives peuvent permettre d'optimiser les temps de remplissage ou de vidange, mais elles ont un coût : dimensionnement des compresseurs, diamètre des canalisations, etc. La vitesse de manœuvre du barrage est à étudier par le concepteur au cas par cas.

A titre d'information, une approche au m² de bouchure a été menée sur un échantillon d'ouvrages :

- le temps de dégonflage est en moyenne, par rapport au temps de gonflage :
  - gonflage à l'air : similaire à légèrement plus court
  - gonflage à l'eau : une à deux fois plus court (selon le niveau aval)
  - le BGVM : deux à trois fois plus court
- le gonflage à l'eau est quatre à six fois plus lent que celui à l'air, et environ trois fois plus lent que celui du BGVM.

Ces chiffres sont bien entendu à prendre avec beaucoup de précautions, ces approches n'étant menées que sur un faible échantillon de barrages aux caractéristiques différentes (dimensions, équipements,…).

A titre indicatif, les temps totaux de gonflage/dégonflage pour une bouchure de dimensions 2m x 20m, avec un équipement standard, sont de l'ordre :

Temps approximatif	Barrage gonflable à l'air	Barrage gonflable à l'eau	BGVM
Gonflage	30 minutes	2 à 3h	45 minutes
Dégonflage	30 minutes	1 à 2h	20 minutes

Important : l'influence du niveau aval doit être prise en compte par les concepteurs lors de l'évaluation des temps de vidange des barrages gonflables. En l'absence de dispositions constructives particulières, cela peut avoir pour effet de ralentir/empêcher l'effacement gravitaire complet de la bouchure.

5.3.4 Passerelle d'exploitation

La mise en place d'une passerelle présente plusieurs avantages :

- la maintenance de l'ouvrage : aspect pratique pour l'exploitant lors des inspections, atouts pour les opérations de batardage, accessibilité aux ouvrages annexes du barrage,
- la mise en place de signalisation fluviale.

Le barrage gonflable n'impose pas la présence d'une passerelle d'exploitation, puisque aucun organe de manœuvre n'est présent sur pile. Dans le cas où une passerelle serait aménagée, son positionnement doit être étudié pour limiter les risques de vandalisme (coups de couteau portés par un piéton depuis la passerelle par exemple).

5.4 Dispositions pour la maintenance

5.4.1 Opérations courantes de maintenance préventive

Les opérations de maintenance à effectuer sont décrites dans un plan de maintenance à établir pour chaque installation, avec l'aide du concepteur, du constructeur et des fournisseurs.

Les opérations de maintenance de routine observées sur les barrages gonflables consistent à :

- effectuer les opérations de purge d'air ou d'eau, selon le type de gonflage ;
- effectuer un contrôle visuel (embâcles à l'amont ou à l'aval du barrage, partie visible de la baudruche,…) ;
- effectuer des tests de gonflage/dégonflage partiels ;
- effectuer des tests sur le by-pass (secours ou bascule d'une passe vers l'autre) ;
- effectuer des tests sur les capteurs.

Ensuite, de manière moins régulière (une fois par mois ou une fois par an selon les technologie et spécificités du site), il est recommandé d'effectuer les opérations suivantes :

- curage des colonnes de régulation pour le gonflage à l'eau ;
- vérification de l'état et de la tenue des déflecteurs ;
- inspection plus détaillée avec un ingénieur spécialisé en barrage gonflable (fournisseur de la baudruche, conseil ou bureau d'études,…).

EN SAVOIR PLUS : LES PRATIQUES ALLEMANDES

Les autorités allemandes prévoient d'effectuer une inspection de leurs barrages gonflables tous les cinq ans, avec mise à sec avec des batardeaux de maintenance en période hydraulique favorable.

Cette opération permet d'observer la ou les ligne(s) d'ancrage (tenue des boulons, corrosion…) ainsi que la membrane (repérage des fissures, évolution, tenue des réparations éventuelles, etc.).

5.4.2 Réparation d'une membrane

5.4.2.1 Gonflage à l'eau/Gonflage à l'air

Les interventions sur les membranes du fait de fuites importantes restent peu nombreuses. Les recensements effectués font état de réparations après constat d'actes isolés de vandalisme (par couteau ou tir de fusil) ou de dégradation par embâcles roulants. Les fuites sont généralement très localisées. De plus, la constitution (voir §4.1.5) de la membrane limite la propagation de l'ouverture et tend même à réduire sa taille (rétablissement de la matière souple et des fibres textile déplacées).

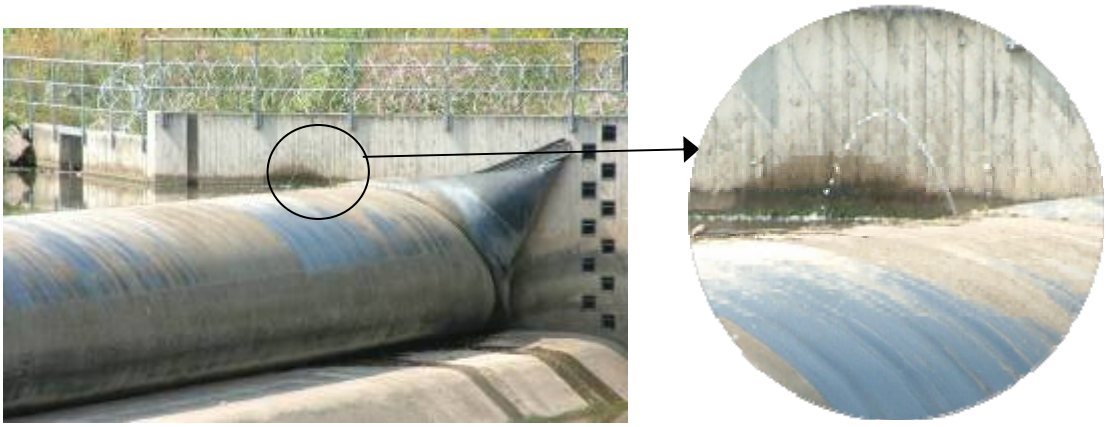


Figure 26 : Fuite suite à un acte de vandalisme [source BAW]

Les autorités allemandes ont effectué des tests qui montrent que ces fuites sont encore plus limitées dans le cas du gonflage à l'eau en raison de la consistance du fluide (frottements).

Des essais après perforation de la membrane par des fusils de différents calibres ont montré que les fuites seraient au maximum de l'ordre de 30 litres/jour, ce qui est très faible par rapport aux capacités de gonflage installées.

Selon le retour d'expérience, les réparations ne nécessitent que très rarement des interventions rapides. Elles peuvent être réalisées dans le cadre d'une opération de surveillance et de maintenance programmée.

5.4.2.2 Principe de la réparation

La plupart du temps, les réparations s'effectuent sans démontage de la bouchure.

La réparation consiste à mettre en place une pièce de caoutchouc armé vulcanisée à froid.

Dans le cas du barrage gonflé à l'eau, la réparation nécessite la mise en place d'un obturateur provisoire pour permettre le travail au sec.

En fonction de la taille de la crevaison, la membrane peut également être envoyée en atelier, ce qui reste très exceptionnel selon le retour d'expérience effectué.

5.4.2.3 Accès

Afin de pouvoir réparer la baudruche, il est nécessaire de pouvoir accéder à la fuite. Pour cela deux cas se présentent :

- la fuite concerne la face amont de la baudruche. Il est alors nécessaire de batarder la passe concernée. Il est rappelé que ces fuites sont souvent limitées et que le système de gonflage permet de compenser les pertes. Le batardage peut donc être programmé lors des périodes hydrauliques favorables ;
- la fuite concerne la face aval, voire supérieure, de la baudruche. L'accès peut s'envisager en période hydraulique favorable en surgonflant la baudruche pour empêcher la surverse et en gérant le débit d'étiage par les autres passes. Il est pour cela nécessaire de concevoir le barrage avec une hauteur de retenue plus importante que la hauteur amont.

5.4.3 Renouvellement d'une membrane

Le renouvellement généralement programmé est un remplacement de la membrane tous les trente ans. Les inspections intermédiaires permettent au Maître d'Ouvrage de juger de la prolongation ou non de la période de renouvellement. Cette opération peut également être l'occasion de remplacer certaines pièces d'ancrage qui s'avéreraient défectueuses.

Il peut être également utile de prévoir des éléments témoins permettant de renseigner sur l'évolution des caractéristiques des matériaux de la membrane. Dans ce cas, ces témoins doivent être placés dans les conditions d'exposition et de sollicitation proches de ceux de la membrane.

Il est précisé que la durée de vie est fonction de la constitution de la membrane et qu'il est nécessaire de respecter les recommandations du §4.1.5.

Pour les BGVM comme pour les BG, tout renouvellement impliquant un démontage des ancrages impose un batardage de maintenance et une mise à sec.

6. Évaluation des coûts

Dans le domaine géométrique favorable à l'installation de bouchures gonflables, pour des barrages de hauteur modérée (inférieure à 3m) et de grand élancement (rapport L/H supérieur à 10), le coût de possession de l'ouvrage (cumul des coûts de construction, d'exploitation, maintenance, renouvellement et gros entretien) est a priori plus intéressant, ou tout au moins à comparer à celui d'une solution plus traditionnelle de type vanne clapet par exemple.

6.1 Comparatif des coûts de fourniture et pose des bouchures gonflables

Afin d'initier une comparaison entre les différentes solutions de type gonflable, sont recensés sur le graphique suivant des ordres de grandeur de **coût des équipements pour différentes surfaces de bouchure installée**, hors installations de chantier et matériel de contrôle commande (et hors génie civil).

Ce coût est basé d'une part sur des consultations de fournisseurs dont les prix ont été moyennés entre eux pour les solutions gonflables, et d'autre part sur des coûts estimés ou constatés pour les solutions clapet (solution vérin uniquement).

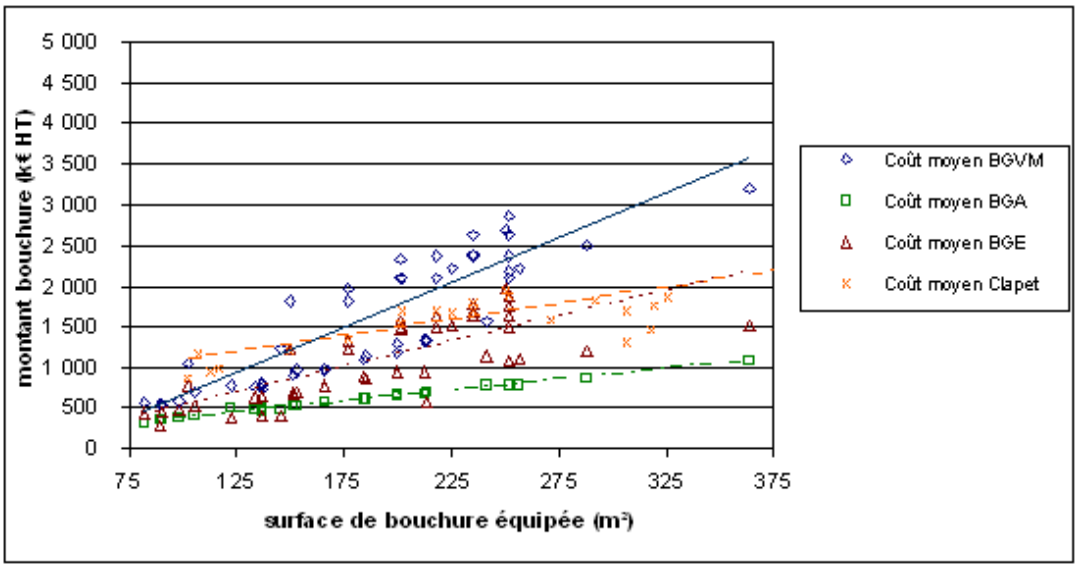


Figure 27 : Evolution du coût d'ordre des différents types de bouchure en fonction de la surface équipée [source BRL ingénierie]

Du fait de la **dispersion des valeurs recensées** sur différents projets, de configurations variables, dans des contextes différents, et du faible nombre d'ouvrages effectivement réalisés à ce jour, **les courbes de tendance linéaire tracées sont purement indicatives**.

Les prix peuvent évoluer en fonction de la démarche commerciale que pourrait entreprendre un fournisseur pour pénétrer le marché Français : si un effort commercial est décidé, les courbes présentées seront immédiatement caduques.

6.2 Part des équipements dans le coût global de construction

Les coûts globaux de construction d'un barrage mobile comprennent le génie civil et les équipements (bouchure, organes de manœuvre, puissance, contrôle commande.

Le graphique ci-après donne une tendance du ratio qui peut être considéré entre la part « génie-civil » et la part « équipement » pour un barrage de navigation en fonction de la hauteur de chute à la retenue normale.

Il est fait l'hypothèse d'une reconstruction complète du barrage. Si la réutilisation du génie civil est pertinente et possible, la part des équipements augmente, mais le coût global de l'ouvrage diminue.

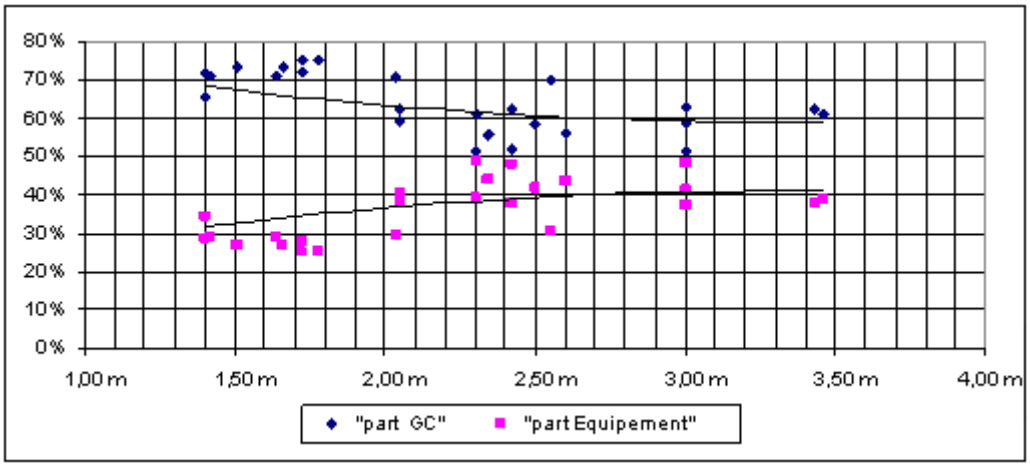


Figure 28 : Evolution du ratio entre coût de génie civil et coût des équipements suivant la hauteur de chute [source BRL ingénierie]

Plus la hauteur de chute est importante, plus la part relative des équipements dans le coût total du barrage augmente.

6.3 Notions sur les coûts de fonctionnement et de maintenance

Les coûts d'ordre de maintenance et d'exploitation ne peuvent être déterminés précisément du fait qu'aucun suivi exact du coût n'est effectué, que ce soit pour les technologies gonflables comme pour les bouchures traditionnelles.

Tous les Maîtres d'Ouvrage de barrages gonflables questionnés lors de l'élaboration de ce guide s'entendent pour dire que l'exploitation est grandement simplifiée (pas de pièces mécaniques, exploitation essentiellement tournée sur le contrôle commande) et que la maintenance est moins importante que pour des ouvrages métalliques traditionnels (peu de graissages, besoins de levage limités, résistance à la corrosion).

Une approche indicative a néanmoins été menée sur un parc d'une vingtaine de barrages ayant des hauteurs comprises entre 2 et 3m et une largeur comprise entre 50 et 100m. Cette approche ne donne qu'une tendance : elle dépend fortement de la configuration géométrique des ouvrages (largeur et nombre de passes) pour chaque solution.

Le diagramme ci-après différencie la maintenance légère (personnel d'exploitation, contrôle, nettoyage, consommables) du gros entretien et renouvellement (remplacement, révision,…). Les hypothèses prises pour les coûts de gros entretien réparation (GER) sont notamment :

- une remise en peinture des clapets et des volets métalliques du BGVM tous les 15 ans ;
- un remplacement des éléments gonflables tous les 30 ans ;
- un remplacement des organes de manoeuvre des clapets tous les 30 ans.

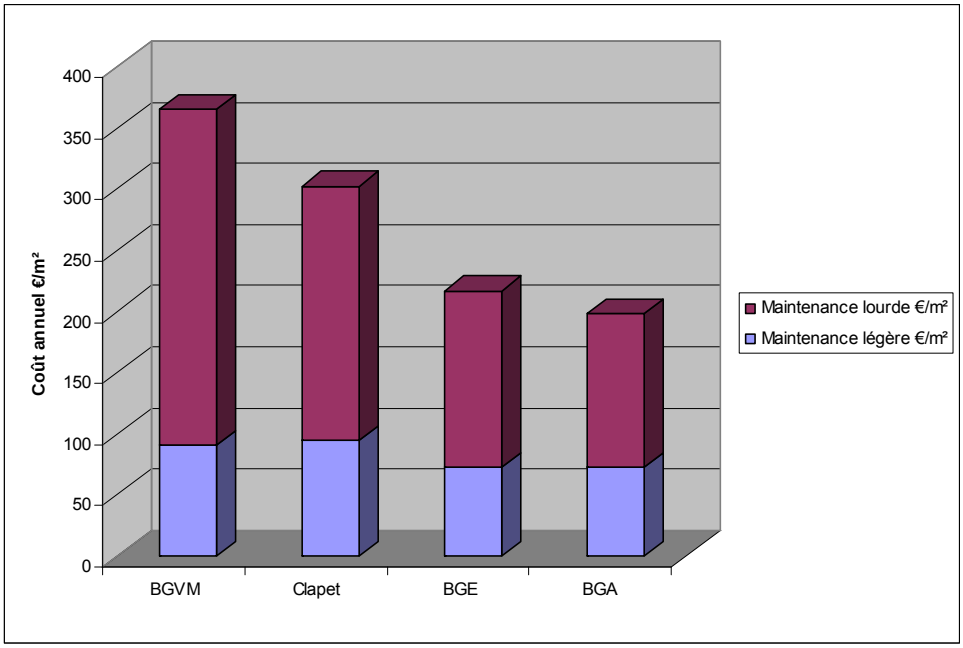


Figure 29 : Evolution du coût de fonctionnement et de maintenance annuels des différents types de bouchure par mètre carré de surface équipée [source BRL ingénierie]

EN SAVOIR PLUS : LES REFERENCES ALLEMANDES

Les gestionnaires allemands d'ouvrage de navigation ne disposent pas non plus à ce jour d'évaluation fines de coûts de maintenance et d'exploitation de leurs ouvrages Lors des études préliminaires du barrage de Bahnitz, les coûts d'exploitation et de maintenance ont été déterminés pour différents types de bouchures. Pour le barrage gonflable à l'eau, ils étaient respectivement 30% et 15% moins élevés que pour la solution clapet.

7. Analyse multicritère vis-à-vis des besoins, contraintes et exigences du Maitre d'Ouvrage

Les tableaux suivants analysent la pertinence des trois technologies gonflables que sont le Barrage Gonflable à l'Air (BGA), le Barrage Gonflable à l'Eau (BGE) et le Barrage Gonflable à Volets Métalliques (BGVM). Ils permettent au lecteur du guide d'évaluer la pertinence de ces trois solutions et d'une solution classique de type clapet, selon les problématiques suivantes : l'hydraulique, les contraintes, l'exploitation/maintenance et les coûts.

Attention : l'analyse qui suit dessine des tendances, elle ne permet en aucun cas de s'affranchir d'une étude spécifique, chaque site ayant ses propres besoins, exigences et contraintes.

Ces exigences et ces besoins, qui traduisent les choix du Maître d'Ouvrage, pèsent sur la conception du barrage. Ils concernent en particulier :

- la durée de vie des éléments constitutifs du barrage ;
- le niveau de fiabilité attendu : choix des matériaux, choix de redondance dans la conception, dispositions constructives ;
- la définition des situations de projet à justifier et plus particulièrement les situations accidentelles ;
- les performances en termes de régulation : niveau, débit, vitesse de manœuvre,… ;
- les exigences en termes d'exploitation : moyens nécessaires, coûts,… ;
- les exigences en termes d'inspection.

Un type de bouchure est évalué de manière générale et par ordre croissant de pertinence vis-à-vis du critère en question :

- **peu pertinent :** s'il apporte une réponse peu satisfaisante au critère ;
- **assez pertinent :** s'il apporte une réponse pouvant satisfaire le critère, sous réserve de vérifications vis à vis des besoins réels du site ;
- **pertinent :** s'il apporte une réponse satisfaisante ;
- **très pertinent :** si la réponse apportée répond parfaitement au critère (sauf cas exceptionnel).

Ces pertinences ont été établies à l'appui d'un état des lieux datant de 2011, en prenant en compte d'éventuelles dispositions constructives évoquées au §5. Elles peuvent donc être remises en question selon les avancées technologiques futures.

7.1 Hydraulique

Hydraulique	BGA	BGE	BGVM	Autres solutions – Type clapets
Régulation fine de la hauteur du plan d'eau	**Pertinent** *Bonne régulation pour un faible débit* **Assez pertinent** *pour débits plus importants malgré l'apparition de V-notch*	**Très pertinent** *Bonne régulation sur toute la gamme de débit*	**Très pertinent** *Bonne régulation sur toute la gamme de débit*	**Très pertinent** *Bonne régulation sur toute la gamme de débit*
Effacement devant une crue	**Très pertinent** *Effacement assuré et rapide + possibilité d'une sécurité mécanique en cas de dysfonctionnement de l'automatisme*	**Pertinent** *Effacement assuré + possibilité d'une sécurité mécanique en cas de dysfonctionnement de l'automatisme*	**Très pertinent** *Effacement assuré et rapide + possibilité d'une sécurité mécanique en cas de dysfonctionnement de l'automatisme*	**Pertinent** *Effacement assez rapide mais possibilité de blocage du clapet*
Hauteur de surverse importante	**Peu pertinent** *Limité à 10-20 % de la hauteur du barrage, au-delà apparition de V-notch*	**Très pertinent** *Nécessité de dispositifs particuliers pour limiter les vibrations lors de niveaux aval importants*	**Très pertinent**	**Très pertinent**
Faible hauteur de chute pour une hauteur aval importante (hors crue)	**Peu pertinent si barrage partiellement gonflé** *Difficulté à réguler + difficulté à vidanger totalement la baudruche, notamment pour de faibles vitesses* **Assez pertinent si barrage totalement gonflé** *Nécessité d'une seconde ligne d'ancrage à l'aval*	**Pertinent** *Nécessité de dispositifs particuliers pour limiter les vibrations + difficultés à vidanger totalement la baudruche, notamment pour de faibles vitesses, nécessitant la mise en place de pompe d'exhaure*	**Pertinent**	**Très pertinent** *Nécessité de prise en compte dans le dimensionnement de l'organe de manœuvre pour redresser un clapet fortement incliné*
Etanchéité	**Très pertinent**	**Très pertinent**	**Pertinent** *Nécessité de dispositifs d'étanchéité inter-volets et au contact volet/bajoyer*	**Pertinent** *Nécessité de dispositifs d'étanchéité au contact clapet/bajoyer*
Mesure des débits	**Peu pertinent** *En raison de la formation de V-notch -> mesures difficiles des débits*	**Pertinent** *Hauteur de surverse uniforme, mais loi hauteur/débit moins éprouvée*	**Très pertinent**	**Très pertinent**
Effet de vague amont ou aval	**Assez pertinent** *Bonne réponse de la structure souple mais tension dans la baudruche à prendre en compte* *Affaissement du barrage si variation du niveau importante*	**Très pertinent** *Bonne réponse de la structure souple aux petites variations*	**Pertinent** *Structures rigides*	**Pertinent** *Structures rigides*

7.2 Contraintes

Contraintes	BGA	BGE	BGVM	Autres solutions – Type clapets
Impact visuel des piles intermédiaires	**Pertinent** *Piles intermédiaires de faible largeur en tête et dont l'espacement est conditionné par le batardeau de maintenance.*	**Pertinent** *Piles intermédiaires de faible largeur en tête et dont l'espacement est conditionné par le batardeau de maintenance.*	**Pertinent** *Piles intermédiaires de faible largeur en tête et dont l'espacement est conditionné par le batardeau de maintenance.*	**Peu pertinent** *Piles intermédiaires plus conséquentes pour pouvoir accueillir l'organe de manœuvre hors crue, espacement fixé par les dimensions du clapet et par le batardeau de maintenance*
Passerelle d'exploitation	**Pertinent** *Pas de passerelle nécessaire, ou éventuellement pour faciliter les opérations d'exploitation (inspections visuelles, mise en place du batardeau de maintenance)*	**Pertinent** *Pas de passerelle nécessaire, ou éventuellement pour faciliter les opérations d'exploitation (inspections visuelles, mise en place du batardeau de maintenance)*	**Pertinent** *Pas de passerelle nécessaire, ou éventuellement pour faciliter les opérations d'exploitation (inspections visuelles, mise en place du batardeau de maintenance)*	**Peu pertinent** *Passerelle obligatoire pour accéder aux organes de manœuvre sur piles*
Stabilité du fond de rivière	**Peu pertinent** *En raison de la formation de V-notch entraînant une concentration des débits et une érosion locale*	**Pertinent** *Hauteur de surverse uniforme mais l'absence de fosse de dissipation au droit du radier ne permet pas la dissipation des faibles hauteurs de surverse*	**Très pertinent** *Si fosse pour logement de la bouchure au droit du radier permettant la dissipation d'énergie*	**Très pertinent** *Si fosse pour logement de la bouchure au droit du radier permettant la dissipation d'énergie*
Réutilisation du GC (dans le cas d'un barrage manuel)	**Pertinent** *Faible descente de charge mais nécessite des bajoyers inclinés (sauf dans le cas de barrages de faibles hauteur)*	**Assez pertinent** *Nécessite des bajoyers inclinés et une emprise sur radier souvent plus importante que l'existant*	**Très pertinent** *Faible descente de charge, nécessite une adaptation des bajoyers (étanchéité)*	**Peu pertinent** *Descente de charge importante sur les piles, création d'une réservation pour loger le clapet*
Continuité piscicole	**Assez pertinent** *Prendre en compte un fonctionnement en tout ou rien et le phénomène de V-notch*	**Pertinent** La dévalaison des poissons n'est a priori pas « amortie » dans le cas d'un niveau aval inférieur au niveau du radier. Néanmoins le risque de surmortalité serait nul.	**Pertinent** *La dévalaison des poissons n'est a priori pas « amortie » dans le cas d'un niveau aval inférieur au niveau du radier. Néanmoins le risque de surmortalité serait nul.*	**Pertinent** *La dévalaison des poissons est « amortie » par la fosse de dissipation servant de logement du clapet dans le génie civil*
Présence d'une microcentrale	**Très pertinent** *La régulation peut être assurée sur une plus large gamme de débit avec un coût de bouchure réduit*	**Pertinent** *Mais capacité de réaction plus lente en cas d'arrêt accidentel de la centrale*	**Très pertinent**	**Très pertinent**
Navigabilité du barrage	**Peu pertinent** *Membrane dégonflée exposée aux hélices de bateaux ➔ Tirant d'eau à estimer en conséquence.*	**Peu pertinent** *Membrane dégonflée exposée aux hélices de bateaux ➔ Tirant d'eau à estimer en conséquence.*	**Pertinent** *Membrane protégée par le volet métallique mais tirant d'eau à estimer pour éviter les dégâts sur les volets*	**Pertinent** *Tirant d'eau à estimer pour éviter les dégâts sur les clapets*

7.3 Exploitation/Maintenance

Exploitation/ Maintenance	BGA	BGE	BGVM	Autres solutions – Type clapets
Opérations d'exploitation et de maintenance préventive courantes	**Très pertinent** *Moyennement fréquentes et nécessitant peu de technicité*	**Très pertinent** *Moyennement fréquentes et nécessitant peu de technicité*	**Très pertinent** *Moyennement fréquentes et nécessitant peu de technicité*	**Pertinent** *Peu fréquentes, mais nécessitant une certaine technicité*
Opérations de gros entretien/renouvellement	**Très pertinent** *Durée de vie cible à 30 ans, mais renouvellement peu onéreux*	**Très pertinent** *Durée de vie cible à 30 ans, mais renouvellement peu onéreux*	**Assez pertinent** *Durée de vie cible à 30 ans pour les coussins, augmentée par la protection supplémentaire du volet. Renouvellement assez onéreux*	**Pertinent** *Durée de vie>30ans nécessitant des gros entretiens (a priori tous les 15 ans)*
Possibilité de réparation de la bouchure	**Pertinent** *Fuites souvent assez limitées et sans urgence (possibilité d'attendre l'étiage pour mise en place d'un batardeau), possibilité de réparation sur place pour les petites fuites, certaines fuites peuvent nécessiter la mise à sec de la baudruche*	**Pertinent** *Fuites souvent assez limitées et sans urgence (possibilité d'attendre l'étiage pour mise en place d'un batardeau), possibilité de réparation sur place pour les petites fuites, certaines fuites peuvent nécessiter la mise à sec de la baudruche*	**Pertinent** *Possibilité de réparation sur place sans que cela ne concerne toute la passe, mais nécessité de batarder pour pouvoir démonter le volet en cas de remplacement d'un coussin*	**Pertinent** *Possibilité de réparer l'organe de manœuvre en bloquant le clapet, mais réparation ou remplacement du clapet assez lourd (mais rare)*
Sensibilité au vandalisme	**Assez pertinent** *Sensible aux coups de fusil, et coups de couteaux sous réserve d'accès à la partie aval ou supérieure de la baudruche. Néanmoins les fuites sont limitées et sont souvent compensées par le système de remplissage.*	**Pertinent** *Sensible aux coups de fusil, et coups de couteaux sous réserve d'accès à la partie aval ou supérieure de la baudruche. Néanmoins les fuites sont très limitées et sont souvent compensées par le système de remplissage.*	**Pertinent** *Sensible aux coups de fusil sur la partie aval, et coups de couteaux sous réserve d'accès à la partie aval ou supérieure de la baudruche. Néanmoins les fuites sont limitées et sont souvent compensées par le système de remplissage.*	**Très pertinent** *Sous réserve de la non-accessibilité aux organes de manœuvre (flexibles des vérins, câbles électriques…).*
Passage d'embâcles	**Pertinent** *Aucun cas de perforation recensé par passage d'arbres facilité par la souplesse de la technologie gonflable Possibilité d'objet coupant venant se coincer sous la baudruche, notamment en cas de faible hauteur de surverse et d'un niveau aval inférieur au niveau du radier*	**Pertinent** *Aucun cas de perforation recensé par passage d'arbres qui est facilité par la souplesse de la technologie gonflable Possibilité d'objet coupant venant se coincer sous la baudruche, notamment en cas de faible hauteur de surverse et d'un niveau aval inférieur au niveau du radier*	**Pertinent** *Protection accrue du coussin par le volet mais possibilité de blocage d'arbres dans la bouchure Possibilité d'objet coupant venant se coincer sous la baudruche, notamment en cas de faible hauteur de surverse et d'un niveau aval inférieur au niveau du radier*	**Pertinent** *Possibilité de blocage d'arbres dans la bouchure*
Conditions climatiques	**Pertinent** *Limitation pour températures élevées*	**Pertinent** *Limitation pour températures très faibles*	**Pertinent** *Limitation pour températures très faibles et élevées*	**Pertinent** *Limitation pour températures très faibles*

Exploitation/ Maintenance	BGA	BGE	BGVM	Autres solutions – Type clapets
Inspection	**Assez pertinent** *(amélioration par la mise en place d'une passerelle)* *Fuite d'air visible en cas de surverse et détectable par un sur-fonctionnement du compresseur* *Nécessité de batardage pour inspection détaillée des baudruches, et d'accès pour visibilité sur la paroi aval et le dessous des baudruches*	**Assez pertinent** *(amélioration par la mise en place d'une passerelle)* *Fuite d'eau visible à l'aval en cas de non-surverse (coulure) et détectable par un sur-fonctionnement de la pompe de relevage des eaux* *Nécessité de batardage pour inspection détaillée des baudruches, et d'accès pour visibilité sur la paroi aval et le dessous des baudruches*	**Assez pertinent** *(amélioration par la mise en place d'une passerelle)* *Fuite détectable par un sur-fonctionnement du compresseur* *Perméabilité intra-volet ou volet-bajoyers facilement détectable* *Nécessité de batardage pour inspection détaillée des baudruches, et d'accès pour visibilité sur la paroi aval et le dessous des cousins*	**Pertinent** *Perméabilité intra-clapet ou clapet-bajoyers facilement détectable* *Nécessité d'accès aux organes de manœuvre sur piles*
Temps de manœuvre	**Très pertinent**	**Pertinent**	**Très pertinent**	**Pertinent**
Batardage de maintenance	Il n'y a pas de spécificité particulière au batardage de maintenance pour les BGA, BGE, et BGVM, sauf que, permettant d'équiper des passes très larges, le batardage de maintenance devra faire l'objet de dispositions adaptées aux grandes largeurs de passe.			
Batardeau de secours	Il n'y a pas de nécessité de batardeau de secours plus importante pour la technologie gonflable que pour les solutions plus traditionnelles.			

7.4 Coûts

Coûts	BGA	BGE	BGVM	Autres solutions - Type clapets
Coût de fonctionnement, exploitation, maintenance	**Très pertinent** *Très faible consommation énergétique* *Maintenance légère* *GER peu onéreux*	**Pertinent** *Faible consommation énergétique* *Maintenance courante assez légère* *GER peu onéreux*	**Assez pertinent** *Assez faible consommation énergétique* *Maintenance courante assez lourde (volets)* *GER assez onéreux*	**Assez pertinent** *Consommation énergétique plus conséquente* *Maintenance courante assez lourde* *GER onéreux*
Coûts de construction	**Très pertinent** *Dans la gamme d'utilisation des bouchures gonflables*	**Pertinent** *Dans la gamme d'utilisation des bouchures gonflables*	**Assez pertinent** *Dans la gamme d'utilisation des bouchures gonflables*	**Assez pertinent** *Les forts élancements donnent un net avantage aux solutions gonflables*

Glossaire

Ancrage : Dispositif constitué classiquement d'un rail de serrage et de tiges d'ancrage fixées dans le béton et filetées en tête, d'écrous et de rondelles permettant de coincer l'extrémité amont, et aval le cas échéant, de la baudruche ou des coussins entre le rail et le radier.

Angle d'inclinaison d'un volet (BGVM) : Angle existant entre la verticale passant par l'axe de rotation du volet et la droite passant par le même axe de rotation et l'extrémité supérieure amont du volet.

Automate : Dispositif électronique programmable destiné à la commande de la bouchure (gonflage, dégonflage) en fonction des données fournies par les appareils de mesure (sondes).

Barrage gonflable (BG) : Barrage dont la bouchure est constituée d'une membrane gonflée à l'air et/ou à l'eau et fixée au radier par une ligne ou deux lignes d'ancrage.

Barrage gonflable à volets métalliques (BGVM) : Barrage dont la bouchure est constituée de plusieurs volets métalliques actionnés par un ou plusieurs coussins, gonflé(s) à l'air ou à l'eau, dont l'ensemble est fixé au radier par une ligne d'ancrage.

Barrage mixte : Barrage associant des bouchures dites de régulation fine et des bouchures dites de fonctionnement « tout ou rien ».

Baudruche : Membrane fixée au radier au moyen d'une ou deux ligne(s) d'ancrage, et remplie d'air, d'eau ou d'un mélange des deux. Elle est généralement constituée d'un matériau composite de 4 à 16mm d'épaisseur, dont la matrice est composée d'un ou plusieurs matériaux élastomères et dont le renfort est composé d'une ou plusieurs nappes de polymères.

Brise lame (*uniquement pour le BGVM*): Elément métallique fixé en tête de clapet ou volet qui permet de séparer la lame de surverse afin de rétablir la pression atmosphérique sous la lame d'eau et de limiter les vibrations.

Bouchure (mobile) : Elément mobile d'un barrage qui permet le contrôle d'un niveau amont, d'un débit et qui peut s'effacer au passage de crues pour réduire le risque d'inondation (par exemple : vanne, hausse, volet, baudruche, …).

Caoutchouc Naturel (NR) : Elastomère utilisé comme matrice de la membrane.

Chloroprène (CR) : Elastomère utilisé comme matrice de la membrane.

Colonne de pompage *(uniquement pour le BG eau)* : Réservoir en liaison directe avec le bief amont. Une pompe prélève l'eau de ce réservoir pour le déverser dans la colonne de remplissage, suivant les consignes de régulation.

Colonne de régulation *(uniquement pour le BG eau)* : Réservoir relié à la baudruche par les tuyaux de vidange. Ce réservoir est équipé d'une vanne permettant de rejeter l'eau dans la colonne de vidange. Il est également équipé de dispositifs de sécurité visant à limiter mécaniquement la pression dans la baudruche.

Colonne de remplissage *(uniquement pour le BG eau)* : Réservoir relié à la baudruche par les tuyaux de remplissage. Sa cote impose une pression en mètres de colonne d'eau m CE) à l'intérieur de la baudruche. L'eau de la colonne de régulation est pompée dans la colonne de pompage.

Colonne de vidange *(uniquement pour le BG eau)* : Réservoir en liaison directe avec le bief aval. L'eau de vidange du réservoir de remplissage se déverse dans ce réservoir. Il peut également être équipé de dispositifs de sécurité visant à vidanger la baudruche en cas de non-effacement du barrage face à une crue.

Compresseur *(uniquement pour le BG air et le BGVM)* : Equipement permettant d'envoyer de l'air sous pression dans les tuyauteries et les baudruches.

Conduite de remplissage/vidange : Conduite permettant respectivement de remplir ou de vider la baudruche. Les diamètres varient suivant la taille de la baudruche, le nombre de conduite, le fluide de remplissage (air ou eau), etc.

Coussin : Baudruche dont les extrémités latérales sont fermées et ne sont pas fixées au génie civil.

Débitance : Capacité d'un ouvrage à faire passer un débit.

Déflecteur type bec-verseur *(uniquement pour le BG air)* : Dispositif permettant de décoller la lame d'eau de la paroi aval de la baudruche afin de limiter les phénomènes vibratoires ou le phénomène de V-notch.

Déflecteurs type brise-lame *(uniquement pour le BG eau)* : Dispositifs ponctuels disposés à intervalle régulier en partie aval de la baudruche afin de limiter les phénomènes vibratoires.

Elastomère : Polymère présentant des propriétés élastiques obtenues après liaison de ses chaînes macromoléculaires (réticulation), de type EPDM, CR, SBR, …

Epaisseur de la baudruche : Epaisseur de la membrane constituant l'enveloppe du barrage gonflable, exprimée en mm. Elle est issue du dimensionnement du projet et dépend des contraintes du site (hydrauliques, climatiques, …).

Ethylène-propylène-diène monomère (EPDM) : Elastomère utilisé comme matrice de la membrane.

Fluide de remplissage : Les baudruches des barrages gonflables sont soit remplies d'air, soit remplies d'eau, soit un mélange des deux. L'eau est celle du cours d'eau sur lequel le barrage est installé et avec lequel il communique. Aucun additif (notamment antigel) n'est de ce fait introduit.

Fonctionnement « tout ou rien » : Fonctionnement d'une bouchure maintenue en position totalement fermée et qui est effacée sous certaines conditions (passage de crues,…).

Fosse de dissipation/protection de l'aval du radier : Partie de l'ouvrage destinée à protéger l'aval du barrage contre l'érosion causée par le ressaut hydraulique.

Hauteur amont : Différence, en amont immédiat du barrage, entre le niveau du fond de la rivière et le niveau amont du bief.

Hauteur aval : Différence, en aval immédiat du barrage, entre le niveau du fond de la rivière et le niveau aval du bief.

Hauteur de chute : Différence entre les niveaux amont et aval

Hauteur de retenue : Différence de niveau entre le fond de la rivière en amont immédiat du barrage et le niveau de la crête déversante de la bouchure (volet ou baudruche) lorsque celle-ci est en position haute maximale.

Hauteur de surverse : Différence entre le niveau amont et le niveau de l'arase de la bouchure.

Hauteur du coussin (*uniquement BGVM*) : correspond à la différence de niveau entre le radier de l'ouvrage à l'aval immédiat de l'ancrage de la bouchure et le niveau de la crête du coussin lorsque celui-ci est en position haute maximale.

Hauteur utile : correspond à la différence de niveau entre le radier de l'ouvrage à l'amont immédiat de la bouchure et le niveau de la crête déversante de la bouchure (volet ou baudruche) lorsque celle-ci est en position haute maximale.

Largeur de passe : Distance minimale entre les nus intérieurs de deux piles successives. Dans le cas de bajoyers inclinés, cette largeur est celle mesurée au droit du radier.

Largeur utile du barrage : La largeur utile du barrage est la somme des largeurs de ses passes.

Longueur développée d'une membrane : Longueur de membrane mesurée sur un profil en travers.

Longueur réelle d'un volet (*uniquement pour le BGVM*) : Longueur du tablier (donnée de fabrication).

Membrane : Elément en caoutchouc armé constituant la baudruche ou les coussins.

Pression interne de la baudruche : Pression à l'intérieur de la baudruche, exprimée en millibars (gonflage à l'air) ou en mètres de colonne d'eau –CE- (gonflage à l'eau).

Polyester : Type de polymère constituant le renfort de la membrane (PES).

Polyamide : Type de polymère constituant le renfort de la membrane (PA).

Rail de serrage : Système faisant la liaison entre la membrane et le radier, composé classiquement de deux pièces métalliques entre lesquelles la membrane est serrée. Un barrage gonflable comporte un ou deux rails de serrage.

Régulation : Fonctionnement d'une bouchure dont la position est adaptée en fonction du débit à transiter, selon un temps de réponse et une précision.

ROSA 2000 : Recommandations pour le calcul aux états-limites des Ouvrages en Site Aquatique (CETMEF).

Shore A : Echelle de mesures de dureté pour les élastomères.

Styrène-butadiène (SBR) : Copolymère utilisé comme matrice de la membrane.

Tapis de protection *(uniquement pour les barrages gonflables)* : Tapis posé du côté aval de la baudruche, servant à protéger la membrane des risques de perforation et d'abrasion en épisode de crue.

V-notch *(uniquement pour le BG air)* : Phénomène engendré par une surverse trop importante ou par une baisse de pression de la baudruche, et qui se caractérise par une déflation de la baudruche en forme de V, généralement à proximité d'une culée ou d'une pile.

Remerciements

Ce document a été réalisé sous la Maîtrise d'Ouvrage de **Voies navigables de France** avec le concours du **Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales** pour le pilotage technique de l'étude, assisté du **Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Est** :

- ***par le bureau d'études BRL Ingénierie :***
  - M. Aubonnet Julien
  - M. Vanwarreghem Julien
- ***avec les contributions de :***
  - M. Carlier Denis pour la méthodologie d'évaluation des coûts, M. Vesin Maxime pour l'analyse des travaux du BAW, Mme Larguier Valérie pour toutes les illustrations du guide, Mme Mathieu Valérie pour le maquettage BRL Ingénierie
  - M. Lauriol Gilbert, Cabinet Ravina S.A. pour les recherches en propriété intellectuelle
  - M. Couffignal Daniel, Cabinet Clément & Associés pour la partie schémas de contractualisation
- ***avec l'aide d'un comité technique composé de :***
  - M. Brunel Christophe, Service Navigation Rhône Saône Méditerranée
  - M. Chrétien Timothée, Service Navigation du Nord Est
  - M. Huard Claude, Service Navigation de Strasbourg
  - M. Lacourt Hugues, Service Navigation du Bassin de la Seine
  - M. Pichon Nicolas, CETMEF
  - M. Ernult Jean, CETMEF
  - M. Marcou Yann, CETMEF
  - M. Renaudin Fabien, CETE de l'Est
  - Mme Lason Tiphaine, VNF
  - M. Lecerf Alain, VNF

Les remerciements s'adressent également :

- ***aux Maîtres d'Ouvrage et exploitants de barrages gonflables qui ont bien voulu*** partager leur expérience, et notamment :
  - M. Gebhardt Michaël, M. Maisner Matthias et Mme Gabrys Ulrike du Bundesanstalt für Wasserbrau, Karlsruhe (Allemagne)
  - M. Meyer, M. Leers, M. Huber, M. Oberhofer, M. Lafon, M. Ravel, M. Pagazzi
- ***aux interlocuteurs chez les fournisseurs :***
  - Mme Dou, Mme Haid, M. Leviel, M. Kessels, M. Fritsch, M. Kraus, M. Ferraro, M. Stibelj, M. Debenc, M. Cage, M. Mason
- ***à toutes les personnes qui ont apporté une contribution ponctuelle*** à l'élaboration du présent document et à ses relecteurs, et notamment à :
  - M.Jalilossoltan Nader, VNF, pour les aspects commande publique
  - Mme Chapital Laura, Mme Rousse Marie-Fanelie, Mme Roche Aurélia, Mme Pierson Juliette, M. Trichet Jean-Jacques, M. Petrescu Vlad, M. Scordia Pierre-Yves et M. Matrat Olivier

division Restauration du Réseau
175 rue Ludovic Boutleux
boîte postale 30820,
62408 Béthune cedex
téléphone
03 21 63 24 24
télécopie
03 21 63 24 58
www.vnf.fr
Avril 2012

© photos : BRL - FLOECKSMÜHLE

BRL Ingénierie

Guide des barrages gonflables avec ou sans volets métalliques

Annexes

SOMMAIRE

Annexe 1 : Bibliographie.....3

Annexe 2 : Retour d'expérience sur des ouvrages réalisés (benchmark) 7

Annexes 3 : Analyses juridiques.....303

Annexe 1 : Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

ACTA MECHANICA - Free vibrations of inflatable dams - 1990

AIPCN DESIGN OF MOBILE WEIRS (WG 26)- Project Review – Rubber dam at the river Lech, Lechbruck – 2004

ASDSO – Recommandations - 1997

BEIJING IWHR Corp - Documentation de présentation de la société 2010

BRIDGESTONE - Tempe Town dam failure - 2010

BRIDGESTONE – Wave-induced response of inflatable barrier - 2002

DYRHOFF SUMITOMO - Documentation de présentation de la société - 2010

EN GENIE RURAL - Vannes souples pour barrages mobiles - Bilan et perspectives - 1981

FLOECKSMUHLE - Documentation de présentation de la société - 2010

GEBHARDT M. - BAW - Les barrages gonflables en Allemagne - Domaines d'application et enseignements récents - 2008

Harrison HB - INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - The analysis and behaviour of inflatable membrane dams under static loading - 1971

HYDROCONSTRUCT – Documentation de présentation de la société Hydroconstruct-2010JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING - Use of rubber dams for flood mitigation in Hong Kong - 1998

MONTERZY COUNTY WATER RESSOURCE AGENCY - Salinas Valley Water Project - 2010

MINISTERE DES TRANSPORT SN NANCY - DCE Villers devant Mouzon - 1983

MINISTERE DES TRANSPORT SN NANCY / SGTE - DCE Villers devant Mouzon – 1984

Parbery RD - INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - A continuous method of analysis for the inflatable dam - 1977

PETERSON BRUSTAD ING. – San Joaquin Area Flood Control Agency - 2008

QUEENSLAND UNIVERSITY - Some hydraulic aspects during overflow above inflatable flexible membrane dam - 1996

RUBENA - Documentation de présentation de la société - 2008

SATUJO - Documentation de présentation de la société Satujo - 2010

SAVATECH - Documentation de présentation de la société - 2011

SEA LIMITED - Tempe Town dam failure - 2010

SUMITOMO ELECTRICS - Documentation de présentation de la société - 1990

TRELLEBORG QUEENSLAND RUBBER - Documentation de présentation de la société - 2010

US ARMY CORPSE OF ENGINEERS – Ice engineering - Performance Survey of Inflatable Dams in Ice-Affected Waters - 2001

US BUREAU OF RECLAMATION - Friant Dam Spillway Rehabilitation Hydraulic Model Study - 1996

VANDENBURG HJ. - Calcul d'un barrage en caoutchouc

VIRGINIA UNIVERSITY - Literature review - 1997

WATER POWER MAGAZINE - Lyell Dam – WSW Australia - 2002

Annexe 2 :
Retour d'expérience sur des ouvrages réalisés (benchmark)

SOMMAIRE

1. Introduction 11

2. Domaines d'application 12
   2.1 Production d'énergie 12
   2.2 Usage récréatif 12
   2.3 Irrigation 13
   2.4 Régulation de cours d'eau pour la navigation 13
   2.5 Assainissement 13
   2.6 Protection contre les crues 13
   2.7 Rehausse du niveau de protection de barrages de stockage 14

3. Éléments historiques 15
   3.1 Le barrage gonflable 15
      3.1.1 Origine du barrage gonflable 15
      3.1.2 Le barrage gonflable en France 15
      3.1.3 Le barrage gonflable dans le monde 16
      3.1.4 Quelques chiffres [M.Gebhardt, BAW] 17
   3.2. Le barrage gonflable à volets métalliques 18

4. Méthodologie de sélection des barrages visités 19
   4.1 Recensement préalable d'ouvrages 19
   4.2 Critères de sélection des ouvrages à visiter 21
   4.3 Liste des barrages visités 21

5. Visites des barrages sélectionnés 23
   5.1 Barrages hors Voies navigables de France 23
   5.2 Barrages de Villers-devant-Mouzon et Auxonne 23
   5.3 Barrages non visités 23

6. Synthèse des visites de benchmark 24
   6.1 Possibilité de régulation 24
      6.1.1 Barrages gonflables 24
      6.1.2 Barrage gonflable à volets métalliques 25
      6.1.3 Tableau récapitulatif 26
   6.2 Configuration des ouvrages 27
      6.2.1 Dimensions 27
      6.2.2 Radier 28
      6.2.3 Piles et culées 28
      6.2.4 Ancrages 29
      6.2.5 Système de batardage 29
      6.2.6 Tableau récapitulatif 30
   6.3 Gestion des passes 31
   6.4 Coûts de construction de l'ouvrage 32
   6.5 Maintenance-Exploitation 33
   6.6 Aspects environnementaux 35
   6.7 Intégration architecturale et paysagère 36
   6.8 Points technologiques importants 36
      6.8.1 Phénomènes d'instabilité 36
      6.8.2 Systèmes de sécurité 37

6.8.3 Pression de fonctionnement 37
6.8.4 Temps de gonflage/dégonflage 38
6.8.5 Tableau récapitulatif 38
6.9 Problèmes de fonctionnement rencontrés 39

7. Conclusion 40

8. Fiches des barrages visités 42

1. Introduction

Dans le cadre de la réalisation de ce guide, une dizaine d'ouvrages gonflables en service ont été visités en France et à l'étranger.

Ces visites ont eu pour objectif de compléter l'approche bibliographique réalisée dans un premier temps, de bénéficier du retour d'expérience d'autres Maîtres d'Ouvrage utilisant ces technologies et de tirer une synthèse des dispositions prises sur ces barrages.

Cette phase a consisté :

- après un travail préalable de recensement à proposer à la Maîtrise d'Ouvrage, une vingtaine d'ouvrages réalisés :
  - par au moins 3 Maîtres d'Ouvrage différents (et autres que VNF) ;
  - selon des techniques diversifiées, avec si possible au moins une technique mixte ;
  - depuis peu de temps (moins de 5 ans) et depuis plusieurs années (5 à 10 ans ou plus) ;
- à visiter une dizaine d'ouvrages, choisis avec l'accord de VNF, à rencontrer les Maîtres d'Ouvrage et les exploitants et à établir un rapport par ouvrage comportant des photos, des schémas, des plans ;
- à prendre connaissance des bilans établis pour les opérations de Villers-devant-Mouzon et d'Auxonne ;
- pour les autres barrages non visités, à fournir :
  - une description du cours d'eau retenu au droit du barrage, ses usages, ses débits, ...
  - une description synthétique de l'ouvrage et ses principales dimensions y compris le génie-civil (coupe en plan en long et transversale en section courante et les appuis éventuels) ;
- à réaliser une synthèse des différents procédés identifiés.

Avant d'aborder la partie « benchmark » et les apports de ces visites d'ouvrages actuellement en service, ce document rappelle au préalable :

- les différents usages ou domaines d'application des barrages gonflables ;
- une présentation du développement historique de ces technologies ;
- la méthodologie qui a conduit, en lien avec les services de VNF, à la sélection des ouvrages finalement visités.

Les fiches des ouvrages visités sont reportées au chapitre 6 de ce document.

2. Domaines d'application

Les principaux domaines d'application des barrages gonflables sont les suivants :

2.1 Production d'énergie

Le barrage gonflable peut être associé à une centrale hydroélectrique. En fonctionnement normal, le barrage est gonflé et le plan d'eau est régulé par la centrale. En cas de crue et d'incapacité de la centrale hydroélectrique à réguler seule le plan d'eau, la baudruche peut prendre le relais. Si la crue devient trop importante, il peut alors être nécessaire d'effacer la baudruche. Ce type d'installation permet également le passage d'embâcles et facilite la gestion de la formation d'une couche de glace en amont de la centrale.

Figure B- 1 : Barrage de Kiebingen (D) - Exemple d'un barrage gonflage combiné à une centrale hydroélectrique

2.2 Usage récréatif

Le barrage gonflable peut permettre de maintenir un plan d'eau pour des activités nautiques, de baignade ou halieutiques. Il permet également de s'effacer rapidement en cas de montée des eaux. Ce domaine d'application engendre souvent une utilisation en « tout ou rien », avec toutefois une capacité à réguler une partie du débit par surverse à l'étiage.

Figure B- 2 : Barrage d'Aubeterre (F) - Exemple d'un barrage gonflable à usage récréatif

2.3 Irrigation

Le barrage gonflable peut permettre de maintenir un plan d'eau pour des besoins en irrigation ou réguler les niveaux pour alimenter une prise sur un cours d'eau. Le barrage peut selon les besoins et les conditions pluviométriques s'effacer.

2.4 Régulation de cours d'eau pour la navigation

Le barrage gonflable permet de maintenir le niveau d'un bief amont pour des besoins de navigation et permet une transparence hydraulique de l'ouvrage lors du passage des crues.

Figure B- 3 : Barrage de Bannetze (D) - Exemple d'un barrage à vocation de régulation de cours d'eau

2.5 Assainissement

Le barrage gonflable peut permettre le stockage temporaire de rejets industriels, d'eaux d'assainissement,… Les membranes en polyéthylène sont en effet bien adaptées pour résister aux agressions chimiques.

2.6 Protection contre les crues

Le barrage gonflable peut être mis en place en zone inondable afin de protéger les habitants d'un débordement de fleuve. Placé en dehors du lit mineur, son fonctionnement est généralement piloté en « tout ou rien ».

Figure B- 4 : Barrage de Wiesentalpolder (D) - Exemple d'un barrage gonflable à vocation de protection

2.7 Rehausse du niveau de protection de barrages de stockage

Le barrage gonflable peut être mis en place au droit d'évacuateurs de crues de barrages de stockage afin de pouvoir optimiser le volume de retenue et l'écrêtement de crues.

Figure B- 5 : Barrage de Nacimiento (USA) - Exemple de rehausse d'évacuateur de crues par un barrage gonflable

3. Éléments historiques

3.1 Le barrage gonflable

Le présent chapitre traite uniquement du barrage gonflable « classique ». Le BGVM est traité au chapitre 3.2.

3.1.1 Origine du barrage gonflable

Le principe du barrage gonflable en caoutchouc a été inventé et breveté par M.Mesnager, ingénieur hydro-électricien français, en 1947. La conception du barrage se caractérise par une paroi souple attachée par ses deux extrémités et gonflée à l'eau ou à l'air.

La Compagnie Nationale du Rhône charge alors la société Kleber Colombes de concevoir un prototype. Cette société va mettre au point une membrane adaptée à cette fonction, en combinant les qualités des textiles tels que le nylon avec celles du polychloroprène (résistance au vieillissement, imperméabilité, allongement à la rupture, adhérence aux tissus,…). Kleber Colombes puis le Joint Français réalisent en France ce type de membranes en insérant une couche de nylon au sein de deux couches de polychloroprène ou deux couches de nylon liées par une gomme et enserrées de deux couches de polychloroprène. Malgré des essais positifs, ce projet reste sans suite.

C'est aux Etats-Unis, en 1956, que M. Imbertson invente et fait breveter le « Fabridam », une membrane mise au point par Firestone et constituée d'une feuille de tissu caoutchouté, repliée sur elle-même deux, trois voire quatre fois selon la résistance désirée. Le premier barrage gonflable voit ainsi le jour en 1959 pour l'alimentation en eau de la ville de Los Angeles. Le gonflage se fait alors uniquement à l'eau.

3.1.2 Le barrage gonflable en France

Suite à l'échec de Kleber Colombes, la société d'Equipements Mécaniques et Hydrauliques (E.M.H.) acquiert les brevets et réalise pour le compte d'EDF les premiers barrages français. En 1960, le premier barrage gonflable d'Europe est réalisé à Aubas sur la Vézère. E.M.H réalisera ensuite 10 barrages entre 1960 et 1970 dont 5 fonctionnent toujours.

Le principal but de ces aménagements est le maintien d'un plan d'eau à usage récréatif pour cinq d'entre eux. Les autres ouvrages sont destinés à l'irrigation, la production hydroélectrique et la protection contre les remontées salines. Les raisons qui ont poussé à choisir ce type de bouchure, par rapport à d'autres solutions mobiles telles que les vannes ou clapets métalliques, sont l'intégration paysagère mais surtout le prix de revient puisque les aménagements réalisés réutilisent le génie civil existant, ce que permet très bien ce type de technologie.

Certains barrages ont été remplacés par des systèmes à clapets métalliques du fait d'incompatibilité avec le site, voire d'un manque de confiance pour ce type de technologie. Il ressort que les ouvrages démantelés étaient situés au droit de cours d'eau capricieux, avec un transport solide important laissant penser que la qualité de la membrane n'était pas adaptée aux phénomènes d'abrasion inhérents à ces cours d'eau. A l'époque, les membranes ne sont pas pensées pour être facilement démontables, réparables, ce qui a entrainé l'abandon de ce type de bouchure et leur remplacement par des systèmes plus traditionnels.

Les équipements actuellement en fonctionnement n'ont pas connu de problèmes intrinsèques depuis leur installation, mis à part quelques vandalismes qui ont pu être réparés.

Il apparaît difficile de pouvoir tirer des conclusions générales sur les raisons de ce demi-échec des barrages gonflables en France. Toujours est-il qu'après 1970, les nouvelles réalisations sont quasiment inexistantes.

Il faut attendre 1979 pour que le Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables (STCPMVN) s'intéresse aux projets de la société Kleber Colombes. En effet, suite aux échecs des années 60, cette société va réaliser plusieurs séries d'essais sur des prototypes afin de trouver des solutions aux problèmes rencontrés par les précédents ouvrages (abrasion, difficultés de standardisation, instabilités longitudinales, corrosion des ancrages métalliques). Il en ressort un barrage composé de modules indépendants de 3 à 6m, reposants sur un tapis anti-affouillement, recouverts d'un tapis de protection et ancrés par un parafouille. Le STCPMVN teste ce prototype sur le barrage de Villers-devant-Mouzon sur la Meuse en 1985. Le barrage aurait ensuite été emporté par une crue, mettant fin à l'expérimentation.

Enfin, en 2002, la société française SATUJO, qui a réalisé le renouvellement de plusieurs baudruches sur quelques uns des barrages réalisés dans les années 60, équipe une partie du seuil d'Alès d'une baudruche gonflable dans un but de pouvoir effacer le barrage en cas de crue du Gardon.

3.1.3 Le barrage gonflable dans le monde

3.1.3.1 Les Etats-Unis

Entre 1959 et 1978, 39 sites aux Etats-Unis furent équipés de « Fabridam ».

En 1978, le japonais Bridgestone développe une membrane en EPDM gonflée à l'air, permettant une meilleure mise à plat de la baudruche dégonflée. De plus, cette membrane est munie d'un déflecteur limitant les phénomènes de vibrations. Bridgestone réalise les premiers barrages gonflés à l'air aux Etats Unis et rachète Firestone en 1988.

Le nombre de barrages gonflables aux Etats-Unis atteignait 84 ouvrages en 2005 [M.Gebhardt, BAW]. La longueur maximale de baudruches est de l'ordre de 90m, la hauteur 4,9m. L'un de ces ouvrages, le barrage d'Adam T. Bower, constitue encore aujourd'hui le plus long barrage gonflable au monde avec une longueur totale de 600m.

3.1.3.2 L'Asie

Une filiale japonaise d'Imbertson Inc, la Sumitomo Electric Industries, s'est chargée de la fabrication et de la commercialisation du « Fabridam » en Extrême Orient à partir de 1964. En 1982, Bridgestone réalise le premier barrage gonflé à l'air au Japon. C'est ainsi que pratiquement 2300 barrages ont été installés en Asie, dont 2000 au Japon avec une forte proportion de gonflage à l'air et une application importante dans le domaine de l'assainissement. La longueur maximale de baudruches est de l'ordre de 130m, la hauteur 6m. [M.Gebhardt, BAW].

3.1.3.3 L'Europe

- En Suisse, quatre barrages sont réalisés en 1970 et un en 1979 sur le cours supérieur du Rhône par la société française Colmant-Cuvelier. Les barrages sont gonflés à l'eau et sont équipés d'un système de chauffage permettant de faire circuler une eau à 30°C pour éviter les dégâts dus au gel. Des problèmes d'usure de la membrane ont été constatés sur le dernier barrage réalisé du fait de phénomènes vibratoires transversaux entrainant le battement de la baudruche contre le génie civil. Le système est alors amélioré par la mise en place d'un tapis protecteur.
- En Hollande, la société Vredestein développe un prototype dès 1966, constitué de caissons métalliques reposant sur le radier, qui, en s'ouvrant, libèrent une baudruche gonflable. Ce type de barrage a été reproduit plusieurs fois par la suite.
- Des projets voient le jour en Angleterre pour des applications d'assainissement, mais également en Autriche, pour des applications fluviales avec des conditions de basses températures.
- Enfin, en Allemagne, la technologie du barrage gonflable est initiée en 1969. Après un premier échec dû à une abrasion de la membrane causée par des phénomènes vibratoires, cette technologie sera mise en place sur près de 70 ouvrages, notamment durant les 20 dernières années. Le système de gonflage à l'eau équipe 68% des ouvrages, celui à l'air 32%. La longueur maximale de baudruches est de 51m, la hauteur 3,7m. Le plus long barrage mesure 120m. [M.Gebhardt, BAW].

3.1.3.4 L'Australie

L'Australie ne comptait que 5 barrages gonflables en 2005 [M.Gebhardt, BAW]. Un incident survenu en 2008 sur l'un des barrages aurait engendré le démantèlement de 3 autres barrages, installés par un même fournisseur.

3.1.4 Quelques chiffres [M.Gebhardt, BAW]

Environ 2600 barrages gonflables « classiques » sont actuellement recensés dans le monde suivant la répartition géographique suivante :

- 88% en Asie
- 8% en Europe
- 3% aux Etas Unis
- moins de 1% en Australie
- moins de 1% en Afrique

Ces ouvrages sont équipés d'un système de gonflage à l'air (environ 90%), à l'eau (environ 10%) ou d'un système air/eau (moins de 1%), ceci sans tenir compte des répartitions selon les domaines d'application.

3.2. Le barrage gonflable à volets métalliques

Le BGVM a été inventé par M. Henry Obermeyer et breveté en 1988, date à laquelle le premier barrage est installé aux Etats-Unis. Depuis, plus de 200 barrages ont vu le jour principalement aux Etats-Unis et au Canada, mais également en Extrême Orient (Japon, Taïwan, Corée du Sud), en Inde, en Europe, en Océanie et au Pérou.

Le premier barrage européen est installé en Hongrie en 1997 avec la participation de la société Dyrhoff AS. Cette société norvégienne est le principal agent européen pour les barrages Obermeyer, mais conçoit et fournit également des barrages gonflables. Depuis elle a installé des barrages au Portugal, en Allemagne, au Royaume Unis, en Italie et en Norvège.

En France, l'expérimentation de Villers-devant-Mouzon est reprise en 2005 avec la mise en place d'un BGVM. Cette expérience concluante menée pendant plus de deux ans a ensuite été suivie par la réalisation de deux autres BGVM : le barrage d'Auxonne en 2009-2010, d'une longueur de 220m répartie sur quatre passes, et le barrage de Gray en 2010, d'une longueur de 20m répartie sur deux passes.

Depuis 2010, il semble que le brevet portant sur le principe d'un clapet mu par un actionneur gonflable relève du domaine public (la question des brevets et de la propriété intellectuelle n'est pas développée ici, elle fait l'objet d'une autre annexe).

La société italienne Hydro Air Bank développe également ce type de technologie avec la réalisation de trois barrages en Italie.

4. Méthodologie de sélection des barrages visités

4.1 Recensement préalable d'ouvrages

A la suite de la recherche bibliographique de nombreux fabricants et/ou installateurs de bouchures gonflables ont été identifiés.

Afin de bénéficier d'un panel représentatif des technologies existantes sur le marché, un recensement des types de barrages réalisés par ces « fournisseurs » a été établi (cf. tableau suivant), pour permettre un maximum de pertinence quant au choix des barrages à visiter.

Fournisseur/ Fabricant	Pays	Technologie	Références
Rubena/ Hydroconstruct	Autriche	Gonflage Eau	- Nombreuses références pour l'hydroélectricité - dimensions variées - entre 1977 et 2010 - implantations principales en Autriche et Allemagne.
Floecksmühle	Allemagne	Gonflage Air Gonflage Eau	- Nombreuses références pour l'hydroélectricité - 3 références pour la navigation - dimensions variées - entre 1994 et 2010 - implantations principales en Allemagne.
Sumitomo/ Dyrhoff	Japon/ Norvège	Gonflage Air Gonflage Eau	- Nombreuses références principalement en gonflage à l'air généralement en mode « tout ou rien » - dimensions variées - entre 1990 et 2010 (réf. Dyrhoff) - implantations principales au Japon et en Europe (via Dyrhoff)
Obermeyer/ Dyrhoff	USA/ Angleterre	BGVM[1] Air	- Nombreuses références pour l'hydroélectricité - 3 références pour la navigation (barrages VNF) - dimensions variées - entre 1988 et 2010 - implantations principales aux Etats-Unis et en Europe (via Dyrhoff)
Satujo	France	Gonflage Air Gonflage Eau	- 5 références en France, dont 4 sont des renouvellements de membranes - entre 1990 et 2000 pour des renouvellements, 1 ouvrage neuf en 2002, - dimensions limitées (fonction de maintien de plan d'eau récréatif)
Beijing Iwhr Corporation	Chine	Gonflage Air Gonflage Eau	- Nombreuses références mais peu avec un besoin de régulation précise - Dimensions variées, voire importantes (H>4m, L>100m) - entre 1970 et 2010 - implantations principales en Chine, Bengladesh, Vietnam, Indonésie
Bridgestone	Japon	Gonflage Air Gonflage Eau	- Références principalement en hydroélectricité - Référence « gonflage Air+Eau » - Dimensions variées, voire importantes (H>8m, L>50m) - entre 1970 et 2002 - implantations principales au Japon, Etats-Unis, en Europe
Hydro Air Bank (filiale de Jollytech , ex Pirelli)	Italie	Gonflage Air Gonflage Eau BGVM Air BGVM Eau	- Références principalement pour protection contre les crues avec un fonctionnement en tout ou rien - Dimensions variées - entre 1990 et 2010 - implantations principales en Italie
Savatech	Slovénie	Gonflage Air Gonflage Eau	- Références principalement en hydroélectricité - Dimensions variées, - entre 1981 et 2010 - implantations principalement en Europe de l'Est
Hutchinson/ Joint Français	France	Gonflage Air Gonflage Eau	- Peu de références - Plus très actif sur le marché
Queensland Rubber/ Trelleborg	Australie	Gonflage Air	- Références principalement en hydroélectricité - 4 références en Australie, dont 3 démantelées suite à un incident sur l'un des barrages

1 Barrage Gonflable équipé de Volets Métalliques

Un premier tri sur cette liste a été effectué en accord avec VNF. En effet, certains fournisseurs sont situés dans des zones géographiques lointaines et parfois peu enclins à délivrer des informations précises sur leurs réalisations. Il s'agit des fournisseurs suivants :

- Trelleborg ex-Queensland Rubber : les représentants de cette société n'ont pas souhaité transmettre autre chose que des documentations commerciales sur leurs réalisations, l'activité barrage gonflable étant désormais considérée comme annexe à leur activité. Le Maître d'Ouvrage des barrages recensés, Sunwater ltd, dont l'activité principale est la production d'énergie, n'a pas non plus souhaité répondre à nos questions, du fait d'une procédure judiciaire en cours sur l'un de leurs ouvrages.
- Beijing Iwhr Corporation : les contacts établis avec cette société ont permis de programmer une visite en Chine. Toutefois, la pertinence des informations qui nous ont été transmises par avance sur les barrages se sont avérées très décevantes : il s'agit pour l'essentiel de photographies et de descriptions très générales. Ce fournisseur nous a semblé apporter peu d'apport technologique (impossibilité de disposer de documentations techniques) au regard d'autres fournisseurs, de surcroît géographiquement beaucoup plus proches du marché français.

Sur cette base, une première sélection d'ouvrages a été établie, pour aboutir à une liste de 20 ouvrages :

Nom	Lieu	Maître d'Ouvrage	Fournisseur
Alès	Languedoc Roussillon, France	Grand Alès (Cté Agglomération Alès)	Satujo
Gapeau	Provence Alpes Cote d'Azur, France	Mairie de Hyères	Joint Français
Selikum	Rhénanie N Westphalie, Allemagne	Erftverband	Floecksmühle
Marklendorf	Basse-Saxe, Allemagne	WSV (Wasser SchifffahrtsVerwaltung)	Floecksmühle
Bannetze	Basse-Saxe, Allemagne	WSV (Wasser SchifffahrtsVerwaltung)	Floecksmühle
Bahnitz	Brandebourg, Allemagne	WSV (Wasser SchifffahrtsVerwaltung)	Floecksmühle
Kiebingen	Bade-Wurtemberg, Allemagne	EnBW (Energie Baden Württemberg)	Bridgestone
Ackermann	Bade-Wurtemberg, Allemagne	Mairie de Augsbourg	Bridgestone
Ramspol	Pays-Bas	Water-board District Groot Salland	Bridgestone
Lechbruck	Bavière, Allemagne	AÜW (Allgäuer Überlandwerk)	Hydroconstruct
Erlangen	Bavière, Allemagne	-	Hydroconstruct
Turkheim	Bavière, Allemagne	RUF Automobile	Sumitomo
Oberhofer	Bavière, Allemagne	M. Oberhofer	Obermeyer
Friant dam	Californie, USA	U.S. Bureau of Reclamation	Obermeyer
Sinissippi	Illinois, USA	Illinois Department of Natural Resources	Obermeyer
Majdicev Log	Slovénie	Gorenjske elektrarne d.o.o.	Savatech
Padova	Italie	Mairie de Padova	Hydro Air Bank
Viareggio	Italie	Région Toscane	Hydro Air Bank
Pistoia	Italie	Région Toscane	Hydro Air Bank
Cuneo Tanaro	Italie	ENEL (Ente Nazionale per l'energia ELettrica)	Hydro Air Bank

4.2 Critères de sélection des ouvrages à visiter

Afin d'avoir une vision exhaustive des différentes technologies d'ouvrages gonflables en service, il a été convenu avec VNF de visiter, parmi les barrages recensés dans la liste précédente, au minimum une référence par fournisseur, en tenant compte des éléments suivants :

- dimensions d'ouvrages sensiblement équivalentes à celles des barrages VNF qui seraient susceptibles d'être équipés[2]. Les ouvrages choisis correspondent généralement à un « milieu de gamme » permettant de juger du savoir-faire de chaque fournisseur ;
- représentativité des différents ouvrages actuellement en service, présentant des technologies diversifiées ;
- possibilité de visiter les ouvrages avec un « interlocuteur technique », qu'il soit Maître d'Ouvrage ou Exploitant, et ce dans la période de l'année impartie à l'étude.

Les références pures de navigation sont peu nombreuses, et celles-ci concernent à ce jour deux technologies : BGVM (ouvrages VNF d'Auxonne, Gray et Villers-devant-Mouzon) et Barrages Gonflables à l'Eau (ouvrages des Voies Navigables Allemandes). De ce fait, un effort particulier a été conduit pour donner la priorité à des visites en Allemagne.

Concernant les BGVM, bien que la technologie Obermeyer soit désormais connue pour VNF, elle n'a été mise en service que très récemment : la visite d'un barrage d'une dizaine d'année était souhaitable. Le seul autre fournisseur recensé bénéficiant de références de BGVM (en plus de solutions gonflables seules) est la société italienne Hydro Air Bank, pour laquelle des références de ce type ont été prioritairement recherchées.

4.3 Liste des barrages visités

A l'issue d'une réflexion conduite en lien avec VNF et le CETMEF sur le choix des barrages, BRL ingénierie a vérifié qu'une bonne représentativité des aménagements était atteinte puis confirmé la faisabilité[3] des visites dont le nombre a finalement été fixé à treize, du fait qu'elles restent concentrées à la zone Europe.

Figure B- 1 : Carte des barrages visités

2 Les ouvrages exceptionnels sont exclus : barrage Bridgestone de Ramspol (NL) par exemple

3 La visite du barrage d'Ackerman initialement programmée a été annulée faute de pouvoir rencontrer l'Exploitant sur le site. Ce barrage a été remplacé par celui d'Eisenbahner qui bénéficie d'une technologie mixte (bouchure gonflable – pertuis vanné) et présente une centrale de production d'hydro-électricité

N°	Nom	Lieu	Largeur utile	Hauteur utile	Gonflage	Fournisseur	Fonction	Année
1	Alès	Gard, France	23 m	1,50 m	BG Air	Satujo	Usage récréatif, Maintien de nappe, Gestion de crue	2002
2	Selikum	Rhénanie Nord Westphalie, Allemagne	2 x 8,1 m	1,6 m	BG Air	Floecksmühle	Maintien de nappe	1997
3	Bannetze	Basse-Saxe, Allemagne	2x21m	2,35 m	BG Eau	Floecksmühle	Navigation	2009
4	Marklendorf	Basse-Saxe, Allemagne	2x21,4m	2,32 m	BG Eau	Floecksmühle	Navigation	2006
5	Lechbruck	Bavière, Allemagne	27m + 3x47m	3,35 m/1,25m	BG Eau	Hydroconstruct	Hydroélectricité	2002
6	Turkheim	Bavière, Allemagne	34,5 m	3,7 m	BG Air	Dyrhoff / Sumitomo	Hydroélectricité	1997
7	Oberhofer	Bavière, Allemagne	22m	2,3 m	BGVM Air	Dyrhoff/ Obermeyer	Hydroélectricité	2001
8	Eisenbahner	Bade-Wurtemberg, Allemagne	2 x 45,2 m	0,43 m	BG Air	Floecksmühle	Hydroélectricité	2010
9	Kiebingen	Bade-Wurtemberg, Allemagne	2 x 23 m	3,25 m	BG Air	Bridgestone	Hydroélectricité	1998
10	Gapeau	Var, France	27.5 m	1m	BG Eau	Joint Français	Protection, Maintien de nappe, Gestion de crue	1970/ 2001
11	Viareggio	Italie	10 m	1,80 m	BGVM Air	Hydro Air Bank	Régulation plan d'eau, Protection	2010
12	Pistoia	Italie	24 m	0,8 m	BGVM Air	Hydro Air Bank	Protection contre crues	2010
13	Majdicev Log	Slovénie	5 x 50m	1,1 m	BG Eau	Savatech	Hydroélectricité	1981/ 2005-2010

Figure B- 2 : Liste des barrages visités

Il est vérifié une bonne répartition des savoir-faire :

- Technologie
  - 5 barrages gonflés à l'air
  - 5 barrages gonflés à l'eau
  - 3 barrages gonflés équipés de volets métalliques
  - Cadre de l'aménagement :
  - 6 ouvrages neufs
  - 5 ouvrages réhabilités
  - 2 ouvrages renouvelés
- Année de construction :
  - 4 ouvrages datant de moins de 5 ans
  - 4 ouvrages datant de 5 à 10 ans
  - 5 ouvrages datant de plus de 10 ans
- Dimensions
  - Largeur de passes variant de 8,1 à 50m, pour une moyenne de 27m
  - Hauteur de barrages variant de 0,6 à 3,7m, pour une moyenne de 1,9m
  - Largeur de barrages variant de 10 à 250m, pour une moyenne de 60m

5. Visites des barrages sélectionnés

5.1 Barrages hors Voies navigables de France

Les visites de barrages ont été conduites entre le 07 décembre 2010 et le 06 avril 2011 en France, en Allemagne, en Italie et en Slovénie.

Pour chaque ouvrage visité, un rapport a été établi. Il regroupe un compte rendu de visite illustré de photos et de plans (quand disponibles) et un questionnaire abordé lors de la visite.

Ce questionnaire a ensuite été envoyé pré-rempli à nos interlocuteurs, Maître d'Ouvrage, Exploitant, Fournisseur le cas échéant, afin qu'ils puissent le compléter de certaines informations dont ils ne disposaient pas lors de la visite.

Sur treize ouvrages visités, nous avons pu recueillir tous les retours de questionnaires, plus ou moins complets pour certains, ce qui est considéré comme très satisfaisant.

Les rapports de visites et questionnaires sont reportés en annexe de la présente étude suivant un formalisme commun à toutes les visites.

5.2 Barrages de Villers-devant-Mouzon et Auxonne

Ces barrages existants font partie du patrimoine de VNF. Ils sont équipés de bouchures gonflables à volets métallique, de fourniture Obermeyer. A noter qu'un troisième ouvrage de ce type a été installé à Gray sur la Saône, utilisant la même fourniture.

Le barrage de Villers-devant-Mouzon, réalisé en 2005, a fait l'objet d'une expérimentation qui a duré deux ans et est toujours en service. Toutefois, seul le barrage secondaire est équipé de bouchures gonflables.

Le barrage d'Auxonne constitue le premier barrage en France équipé en totalité de cette technologie.

Un rapport de synthèse décrivant ces deux ouvrages figure en annexe.

5.3 Barrages non visités

Les ouvrages non visités, figurant parmi les 20 ouvrages initialement recensés, sont décrits par une fiche synthétique.

6. Synthèse des visites de benchmark

La synthèse des visites s'articule autour des principales questions que posent les technologies des bouchures gonflables vis-à-vis des problématiques rencontrées par VNF.

En effet, l'échange avec d'autres Maîtres d'Ouvrage et Exploitants, outre la question de l'économie de la construction et de la maintenance, a permis de recueillir leur avis après un retour d'expérience de plusieurs années.

Seront traités dans ce chapitre les questions :

- de la possibilité de régulation ;
- de la configuration des ouvrages - en lien avec l'adaptabilité au parc de barrages à rénover pour VNF ;
- de la gestion des différentes passes ;
- du coût de la construction ;
- de la maintenance exploitation ;
- des aspects environnementaux ;
- de l'intégration architecturale et paysagère ;
- des points technologiques particuliers ;
- des problèmes de fonctionnement rencontrés.

Ceci dans l'objectif d'évaluer l'intérêt de ces solutions technologiques au regard des besoins de VNF.

Nota : il est bien évident que cette synthèse porte sur les ouvrages visités et ne prétend pas couvrir tous les cas de figure rencontrés, ni fournir de conclusions définitives quant à la plus ou moins bonne pertinence de certaines solutions techniques apportées par tel ou tel installateur et/ou fournisseur.

6.1 Possibilité de régulation

6.1.1 Barrages gonflables

6.1.1.1 Gonflage à l'air

La vocation principale du barrage gonflable, et notamment celle des barrages gonflés à l'air visités, est souvent associée à un fonctionnement en « tout ou rien ».

Dès que la hauteur de surverse dépasse les 10 à 20% de la hauteur du barrage, le barrage est effacé, d'où une utilisation pour des maintiens de plans d'eau destinés à la production hydroélectrique, voire pour de la rehausse de seuil fixe au droit de centrale hydroélectrique, pour des maintiens de plans d'eau à usage récréatif, pour des prises d'eau sur des canaux, pour le stockage d'eaux industrielles ou pour des ouvrages de protection (crues, remontées salines).

Néanmoins, certains barrages gonflés à l'air, visités dans le cadre du Benchmark, s'autorisent des dégonflages partiels engendrant des phénomènes de V-Notch[4] pour réguler un plan d'eau. Ceux-ci sont plus ou moins marqués et plus ou moins transitoires, comme pour les barrages de Selikum, Turkheim ou Kiebingen. La régulation se fait avec une précision de +/- 2 à 10 cm selon les barrages et ne semble pas entachée par l'apparition du phénomène. Par contre, le contrôle du débit transité est dans ce cas assez laborieux.

6.1.1.2 Gonflage à l'eau

Le barrage gonflé à l'eau semble victime des idées reçues sur le barrage gonflé à l'air, puisque plusieurs fournisseurs annoncent que le barrage gonflé à l'eau fonctionne en « tout ou rien », tout en acceptant des hauteurs de surverse allant jusqu'à 50% de la hauteur du barrage.

Les visites réalisées dans le cadre du Benchmark nous ont prouvé le contraire, notamment les visites des barrages de Bannetze et Marklendorf, mais également Lechbruck. Ces barrages gonflés à l'eau régulent le plan d'eau avec une précision de +/- 2cm sur toute la gamme des débits (des petites surverse à l'effacement complet du barrage) . Pour ces cas, il semble que des dispositions constructives soient prises pour garantir la stabilité de la bouchure[5] dans toutes ses positions.

Les services des voies navigables allemandes[6] qui s'avouent pleinement satisfaits des capacités de régulation de leurs premiers barrages gonflables en service, nous ont par ailleurs indiqué que leurs recommandations « actuelles » pour tout ouvrage gonflable équipant une voie navigable portaient sur un système de gonflage/dégonflage à l'eau.

Cela est à la fois lié aux meilleures performances de stabilité de la bouchure en toutes positions (des modèles physiques ont été développés sur ce type de technologie outre Rhin) mais également à une question de sécurité : en cas d'incident, le temps de dégonflage d'une bouchure gonflée à l'eau est plus long que celui d'un barrage gonflé à l'air.

6.1.2 Barrage gonflable à volets métalliques

Les BGVM visités ou étudiés sont utilisés pour remplir la fonction de :

- régulation de cours d'eau : hydroélectricité, navigation (ouvrages VNF)
- protection, notamment contre les crues, avec une problématique d'ouvrage souvent à sec et ainsi facilement accessible. Le clapet est réputé utile à la protection de la baudruche contre le vandalisme hors période de crue et à la protection contre les embâcles en période de crue.

La protection de la bouchure gonflable par un clapet est souvent perçue comme une sécurité supplémentaire pour le maître d'ouvrage au niveau du vandalisme, de la protection contre les embâcles et de la qualité de régulation du plan d'eau.

Concernant les deux fournisseurs rencontrés, les technologies se différencient principalement par la modularité de la baudruche. En effet, pour la technologie Obermeyer, chaque clapet possède son coussin gonflable. Pour la technologie Hydro Air Bank, la baudruche, unique et continue, manœuvre l'ensemble des clapets d'une passe. Dans les deux cas, l'étanchéité inter-clapets est assurée au moyen de joints en caoutchouc armé.

La précision de régulation dépend des besoins et des fournisseurs. Du fait de la présence d'un seuil mince rigide venant s'appuyer sur les baudruches, elle est considérée comme tout à fait satisfaisante.

---

4 V-Notch : Phénomène de déflation de la baudruche en forme de V provoquant une surverse locale ou une surverse localement plus importante

5 Mise en place de déflecteurs permettant de répondre à certains phénomènes vibratoires notamment

6 Wasser und Schiffahrtsverwaltung (WSV)

Elle est de l'ordre de +/- 5cm pour le barrage Obermeyer visité. Pour la technologie « Hydro Air Bank », les projets déjà réalisés par ce fournisseur n'exigeaient pas un tel niveau de précision (fonctionnement en « tout ou rien » ou « multi positions »), mais cette précision de régulation semble possible sur une grande partie de débits avec une programmation spécifique de l'automate.

Par contre, le fournisseur italien nous indique qu'en position partiellement gonflée pour une hauteur aval faible (hauteur de chute non négligeable), les ouvrages peuvent être soumis à des vibrations du fait des faibles pressions dans la baudruche continue et des charges exercées sur les clapets, c'est pourquoi il est conseillé d'effacer totalement la baudruche à partir d'un certain degré d'ouverture. Les pressions de service sont plus faibles pour les barrages Hydro Air Bank, ce qui peut expliquer l'observation de ce phénomène. La question a tout de même été posée à Dyrhoff qui n'a pas connaissance de tels phénomènes sur ces ouvrages.

Pour remédier à ces problèmes de vibrations, le fournisseur italien propose dans ce cas la technologie BGVM avec un gonflage à l'eau qui permet de supprimer ces vibrations du fait que l'eau est un fluide incompressible.

6.1.3 Tableau récapitulatif

Le tableau qui suit récapitule les caractéristiques de régulation et fonctionnement des barrages visités :

Nom	But de la régulation sur le cours d'eau	Gonflage	Qmin	Qmax	Débit barrage effacé[7]	Surverse continue	Régulation	Consigne de régulation
Alès	Activité récréatif, Protection contre les crues (affaissement), Maintien de nappe	BG Air	0,3 m3/s	Q100= 2400 m3/s	72 m3/s	Oui	Tout ou rien	Effacement complet si H>20cm, si alerte orange, ou si coupure électricité
Selikum	Maintien de nappe	BG Air	5 m3/s	Q10 = 150 m3/s	56 m3/s	Oui	Tout ou rien	Consigne à 1.60m var. +/- 2cm => régulation var. + 5cm => affaissement
Bannetze	Navigation	BG Eau	3,7 m3/s	Qmax = 400 m3/s	258 m3/s	Oui	Progressive	Cote à tenir à +/- 2cm
Marklendorf	Navigation	BG Eau	3,7 m3/s	Qmax = 400 m3/s	258 m3/s	Oui	Progressive	Cote à tenir à +/- 2cm
Lechbruck	Hydroélectricité	BG Eau	10 m3/s	Q1000 = 1200 m3/s	618 m3/s	Non	Progressive	<150m3/s : centrale >150m3/s : régulation à +/- 2cm
Turkheim	Hydroélectricité	BG Air	2 m3/s	Q100 = 360 m3/s	388 m3/s	Non	Tout ou rien	<21m3/s : centrale >21m3/s : régulation à +/- 2cm
Oberhofer	Hydroélectricité	BGVM Air	1,8 m3/s	Q100 = 130 m3/s	131 m3/s	Non	Progressive	<12m3/s : centrale >12m3/s : régulation à +/- 5cm
Eisenbahner	Hydroélectricité	BG Air	33 m3/s	Q100 = 1600m3/s	43 m3/s	Non	Progressive	<33m3/s : centrale >33m3/s : régulation à +/- 2cm >78m3/s : ouverture partielle vanne wagon, puis régulation à +/-2cm >123m3/s : réouverture vanne wagon,…
Kiebingen	Hydroélectricité	BG Air	2 m3/s	Q100 = 549 m3/s	463 m3/s	Non	Progressive	<22m3/s : centrale >22m3/s : régulation à +/- 2cm
Gapeau	Protection contre les remontées salines (position gonflée) et	BG Eau	2 m3/s	Qmax = 400 m3/s	47 m3/s	Oui	Progressive	Cote à tenir à +/- 10cm

[7] Débit calculé à partir d'une loi de seuil (m=0,385) en considérant une hauteur d'eau = hauteur utile

Nom	But de la régulation sur le cours d'eau	Gonflage	Qmin	Qmax	Débit barrage effacé[7]	Surverse continue	Régulation	Consigne de régulation
	les crues (affaissement), Maintien de nappe							
Viareggio	Protection contre les remontées salines et les descentes d'algues toxiques (position gonflée)	BGVM Air	2 m3/s	Qmax = 60 m3/s	40 m3/s	Oui	Progressive	Régulation suivant 3 paliers en fonction de la concentration saline et de la saison (remontées des algues en été) Cote de protection de +0 à -3cm
Pistoia	Protection contre les crues (position gonflée)	BGVM Air	-	-	-	Non	Tout ou rien	cote > -1m de la cote du seuil=>gonflage du barrage cote> -20cm arase du clapet=>effacement
Majdicev Log	Hydroélectricité	BG Eau	48 m3/s	Q100 = 1290 m3/s	492 m3/s	Oui	Progressive	<34m3/s : régulation centrale >34m3/s : régulation approximative du barrage

6.2 Configuration des ouvrages

6.2.1 Dimensions

Les dimensions moyennes de passes des ouvrages visités sont de 27m de long et 1,9m de haut, ce qui correspond à des dimensions assez classiques pour les ouvrages VNF.

Il s'avère que ces dimensions sont plus liées aux contraintes propres à chaque opération et à chaque Maître d'Ouvrage (largeur du lit de la rivière, réutilisation d'un génie civil existant, passe toujours disponible en cas de maintenance) qu'à la propre technologie du gonflable.

La seule limite technique peut être liée à la vitesse du temps de gonflage et de dégonflage : dans ce cas, le volume de fluide à gérer pour manœuvrer le barrage est déterminant.

A noter, dans le cas de passes équipées de BGVM, que :

- le fournisseur Obermeyer propose une technologie composée de modules (coussin+volet) de dimensions réduites (de l'ordre de 5 à 6m) dont les volets sont liés entre eux par l'intermédiaire d'un joint en caoutchouc armé ;
- le fournisseur Hydro Air Bank propose un système gonflable composé d'une unique baudruche de grandes dimensions (10 à 30m) sur lequel reposent plusieurs volets (de l'ordre de 3m), également liés entre eux.

6.2.2 Radier

La largeur du radier est fonction de la technologie du barrage :

- barrage gonflé à l'air : la largeur de radier minimale est de l'ordre de 1,8 fois la hauteur du barrage ;
- barrage gonflé à l'eau : la largeur de radier minimale est de l'ordre de 2,4 fois pour le barrage gonflé à l'eau ;
- barrage gonflable à volets métalliques : la baudruche doit pouvoir loger sous le clapet en position effacée. La largeur du radier est donc fixée par le clapet, ce qui engendre une largeur de l'ordre de 1,1 à 1,3 fois la hauteur du clapet.

Les différents systèmes permettent d'avoir une charge répartie sur le radier. Les barrages gonflés à l'eau génèrent une descente de charge plus importante que les systèmes gonflés à l'air. Ceci peut être de ce fait un inconvénient ou au contraire un avantage (effet stabilisateur).

6.2.3 Piles et culées

6.2.3.1 Barrages gonflables

Dans le cas des barrages gonflables, les bajoyers peuvent être verticaux ou légèrement inclinés (pente de 1H/3V à 3H/2V).

A noter que les barrages de grande hauteur, comme Kiebingen ou Turkheim, réutilisant un génie civil préexistant avec bajoyers verticaux, permettent d'observer la formation d'un pli sur la baudruche.

Les ouvrages récemment réalisés présentent des bajoyers inclinés afin de permettre une meilleur tenue de la baudruche en position gonflée avec une cote de surverse constante et une meilleure dépose de la baudruche en position dégonflée, la membrane épousant ainsi parfaitement les formes du génie-civil. Ceci semble correspondre à un optimum pour cette technologie.

Les piles sont souvent assez minces du fait des faibles charges appliquées, ce qui permet d'envisager la réutilisation d'un génie civil existant. Dans le cas de bajoyers inclinés, on retrouve des piles ayant une largeur de l'ordre de 0,5m en tête et 2,5m au droit du radier pour une hauteur de 2 à 3m. L'emprise est donc assez réduite.

La tête des piles peut être profilée sur certains ouvrages, afin de limiter les pertes de charges, comme le cas sur les barrages de Marklendorf et Bannetze.

6.2.3.2 Barrages gonflables à volets métalliques

Dans le cas du BGVM, les bajoyers sont verticaux et sont traités au niveau du contact avec le volet métallique pour assurer l'étanchéité latérale de la bouchure. Les différents procédés recensés sont :

- la mise en place d'un plat métallique, associé à un système de chauffage en cas de gel ;
- la mise en place d'un plat en polyéthylène ;
- un traitement fin du béton des bajoyers, avec ou sans recouvrement de résine d'époxy et la mise en place de joints en caoutchouc au droit du volet.

6.2.4 Ancrages

Les lignes d'ancrages sont :

- simples, pour la plupart des barrages gonflés à l'air visités et dans le cas des BGVM ;
- doubles, dans le cas de barrages gonflés à l'eau, sauf pour certains barrages de faible hauteur pour lesquels il n'y a qu'une seule ligne d'ancrage (exemple de Majdicev Log).

L'ajout d'une ligne d'ancrage à l'aval d'un barrage gonflé à l'air doit être étudié en cas de hauteur d'eau aval importante (reprise d'efforts de traction).

La mise en place de deux lignes d'ancrages dans le cas des barrages gonflés à l'eau permet d'économiser la surface de membrane, inutile sur le radier couvert par la bouchure.

Dans ce dernier cas, l'ancrage aval peut être placé à l'intérieur ou à l'extérieur de la baudruche, selon les installateurs.

6.2.5 Système de batardage

Un système de batardage de maintenance amont était prévu sur 9 des 13 ouvrages visités. Il est le plus souvent constitué de pieux métalliques en H à positionner dans le radier et dans lesquels des madriers de bois sont mis en place.

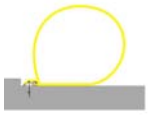
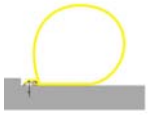
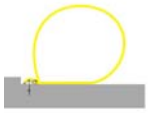
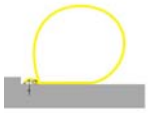
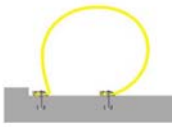
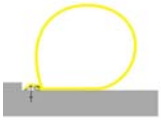
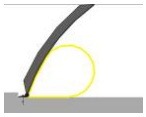
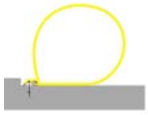
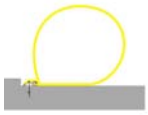
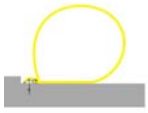
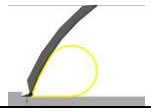
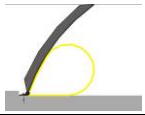
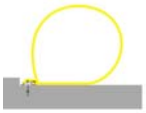
Ce dispositif sert à réaliser les inspections programmées sur certains ouvrages ou les opérations de maintenance telles que les réparations de fuites. Leur mise en place est souvent programmée en été ce qui permet de s'affranchir du batardeau aval.

Ces batardeaux ne peuvent pour la plupart pas être utilisés comme batardeau de secours, cette solution ne convenant pas à une mise en place en crue.

Aucun des barrages visités ne possédait de batardeau de secours, les maîtres d'ouvrage n'en ayant pas prévu pour leur ouvrage.

6.2.6 Tableau récapitulatif

Le tableau qui suit récapitule les caractéristiques de configuration des barrages visités :

Nom	Largeur utile	Hauteur utile	Gonflage	Ancrages	Bajoyers	Passerelle	Batardeau amont
Alès	23m	1,50m	Air		Inclinés 3H/5V	Non	Non
Selikum	2 x 8.1 m	1,6m	Air		Verticaux	Oui	Oui
Bannetze	2x21m	2,35m	Eau		Inclinés 1H/3V	Oui	Oui
Marklendorf	2x21,4m	2,32m	Eau		Inclinés 1H/3V	Oui	Oui
Lechbruck	27m + 3 x 47m	3,35m/1,25m	Eau		Inclinés 1H/3V	Non	Oui
Turkheim	32m	3,7m	Air		Verticaux	Non	Oui
Oberhofer	22m	2,30m	Air (BGVM)		Verticaux	Non	Non
Eisenbahner	2 x 45m	0,43m	Air		Verticaux	Non	Non
Kiebingen	2 x 23m	3,25m	Air		Verticaux	Non	Oui
Gapeau	27,5m	1m	Eau		Inclinés 3H/2V	Non	Oui
Viareggio	10m	1,80m	Air (BGVM)		Verticaux	Non	Oui
Pistoia	24m	0,8m	Air (BGVM)		Verticaux	Non	Non
Majdicev Log	5 x 50m	1,1m	Eau		Verticaux (culées), Inclinés 1H/1V (piles)	Non	Oui

6.3 Gestion des passes

Le fonctionnement du barrage et la gestion des passes dépendent plus du système d'automatisme mis en place et des besoins de régulation que de la structure gonflable à proprement parler.

Comme expliqué précédemment, la régulation peut être fine avec un barrage gonflé à l'air sur une petite plage de débits. Au-delà, les phénomènes de V-notch concernent plus une question d'aspect, voire d'usure[8], qu'une réelle problématique de régulation.

Deux fonctionnements différents ont été observés :

- le barrage fonctionne en « tout ou rien » avec un barrage maintenu en position haute la majeure partie du temps. Il est géré selon :
  - une consigne basse, en pression pour le barrage gonflé à l'air et en hauteur d'eau pour le barrage gonflé à l'eau, en dessous de laquelle il se remplit de fluide pour pallier d'éventuels fuites ou défauts ;
  - une consigne haute engendrant son dégonflage total ;
  - parfois, une consigne intermédiaire engendrant un dégonflage partiel avant le dégonflage total.
- le barrage régule sur toute la gamme des débits. Il est alors géré selon une consigne de niveau amont à tenir. Il se remplit et se vide progressivement pour atteindre sa position de régulation selon les débits.

En fonction des contraintes de chaque opération, les passes peuvent être ou non gérées indépendamment. La possibilité de gérer des débits différents pour chaque passe représente un coût non négligeable puisque chaque passe doit posséder son propre dispositif de gonflage/dégonflage (compresseur, colonne de remplissage et de régulation).

La gestion des passes gonflables est également liée à l'environnement du barrage. La présence d'un pertuis vanné ou d'une microcentrale (cas des ouvrages mixtes) modifie généralement le principe de gestion du barrage pour l'exploitant. Pour le cas des barrages visités :

- lorsque le barrage est dédié à la centrale pour rehausser le niveau d'eau, les débits sont gérés dans un premier temps par la centrale hydroélectrique. En cas de débits plus importants, le barrage prend le relais sur une plage de débits plus ou moins grande en fonction des cas (type de gonflage, nombre de passes, abstraction du phénomène de V-notch,…) ;
- lorsque la centrale est un ouvrage annexe et que la fonction du barrage est de réguler le plan d'eau (pour la navigation par exemple), le barrage régule le plan d'eau et la centrale turbine le débit disponible ;
- lorsque le barrage est équipé de deux types de bouchures (barrage mixte), à savoir un barrage gonflable et un pertuis (Eisenbahner, Majdicev Log), la régulation se fait par les passes équipées de baudruches gonflables jusqu'à leur effacement complet, puis les pertuis prennent le relais. Dans le cas du barrage de Eisenbahner, les dimensions du pertuis ne permettent pas une gestion fine du plan d'eau. Une fois que le barrage gonflable est complètement effacé, le pertuis s'ouvre partiellement pendant que le barrage gonflable se regonfle. Une fois que le barrage gonflable est revenu en position totalement gonflée et que la manœuvre du pertuis est stoppée, le barrage gonflable reprend la régulation du bief, et ainsi de suite…

[8] Ce point est à relativiser vis-à-vis de bouchures en métallerie traditionnelles car la spécificité du barrage gonflable est d'être constitué d'un matériau souple

6.4 Coûts de construction de l'ouvrage

Le tableau suivant récapitule les coûts (à l'année de construction) des ouvrages visités :

Nom	Largeur utile	Hauteur utile	Gonflage	Année	coût total (à l'année de construction)	coût GC (à l'année de construction)	coût membrane (à l'année de construction)
Alès	23m	1,50m	Air	2002	540 k€	350 k€	membrane : 150 k€ télégestion : 40 k€
Selikum	2 x 8,1m	1,6m	Air	1997	840 k€	800 k€	40 k€ (membrane uniquement)
Bannetze	2x21m	2,35m	Eau	2009	3,2 M€	2.3 M€	850 k€
Marklendorf	2x21,4m	2,32m	Eau	2006	4,8 M€[9]	-	650 k€
Lechbruck	27m + 3 x 47m	3,35 m/1,25m	Eau	2002	2,2 M€	1.5 M€	700 k€
Turkheim	32m	3,7m	Air	1997	600 k€	400 k€	membrane : 170 k€ télégestion/automatisme : 30 k€
Oberhofer	22m	2,3m	Air (BGVM)	2001	1,6 M€		
Eisenbahner	2 x 45m	0,43m	Air	2010	-	-	155 k€
Kiebingen	2 x 23m	3,25m	Air	1998	1.6 M€	1.4 M€	200 k€
Gapeau	27,5m	1m	Eau	1970/2002	-	-	85 k€ (renouvellement membrane 2002)
Viareggio	10m	1,80m	Air (BGVM)	2009	500 k€	300 k€	200 k€
Pistoia	24m	0,8m	Air (BGVM)	2010	-	-	200 k€
Majdicev Log	5 x 50m	1,1m	Air	1981/ 2005-2010	-	-	50 k€ par membrane renouvelée (2005-2010)

Ces coûts sont à manier avec précaution puisqu'ils dépendent fortement des systèmes mis en place, des dates de réalisation, des prestations réalisées (nouveau génie-civil, renouvellement,…), du fournisseur/installateur et des besoins de chaque Maître d'Ouvrage (précision de régulation, dispositifs de sécurité,…).

[9] Passe à poissons incluse

6.5 Maintenance-Exploitation

Les opérations et coûts d'ordre de maintenance exploitation ne sont déterminés que sur la base des informations communiquées par les interlocuteurs rencontrés. Pour les ouvrages visités, aucun suivi exact du coût n'est effectué, mais tous les Maîtres d'Ouvrage questionnés s'entendent pour dire que l'exploitation est grandement simplifiée (pas de pièces mécaniques, exploitation essentiellement tournée sur le contrôle commande) et que la maintenance serait moins importante que pour des ouvrages métalliques traditionnels (matériaux souples, besoins de levage limités, résistance à la corrosion).

La maintenance/exploitation du barrage est effectuée par l'exploitant du barrage, souvent un agent, qui passe à fréquence hebdomadaire effectuer des opérations de routine et une inspection de contrôle.

EXPLOITATION

Certains barrages, notamment ceux qui sont associés à des centrales hydroélectriques, permettent la présence d'un exploitant sur site à plein temps. Dans ce cas, le temps annoncé comme consacré au barrage gonflable à proprement parler est relativement faible (une demi-journée par semaine essentiellement pour un contrôle visuel ajouté d'une opération de purge).

En effet, que ce soit depuis sa centrale ou depuis le centre d'exploitation, l'exploitant peut contrôler à tout moment la pression interne du barrage, le niveau amont, le niveau aval, voire le débit, les hauteurs d'eau dans les colonnes, les positions des vannes de vidange, le fonctionnement de la pompe,… et identifier tout écart synonyme d'un éventuel dysfonctionnement.

Un système d'alerte par SMS permet également d'alerter les exploitants, notamment en dehors des heures de travail, en cas d'abaissement anormal de la baudruche ou d'intrusion sur le site du barrage.

MAINTENANCE

Les opérations de maintenance effectuées se font également à pas hebdomadaire. Une télégestion est quasiment toujours présente et fait appel aux mêmes matériels que ceux installés pour des bouchures traditionnelles de type clapet.

Les opérations de routine hebdomadaire consistent généralement à :

- relever les incidents non préjudiciables et donc non envoyés par SMS ;
- effectuer les opérations de purge d'air ou d'eau, selon le type de gonflage ;
- effectuer un contrôle visuel (embâcles à l'amont ou à l'aval du barrage, partie visible de la baudruche,…) ;
- effectuer des tests de gonflage/dégonflage partiels ;
- effectuer des tests sur le by-pass (secours ou bascule d'une passe vers l'autre) ;
- effectuer des tests sur les capteurs.

Ensuite, de manière moins régulière, de fréquence mensuelle à une fois par an selon les barrages, les opérations suivantes sont mentionnées par les exploitants ou Maîtres d'Ouvrage rencontrés :

- curage des colonnes de régulation pour le gonflage à l'eau ;
- dégonflage total des baudruches ;
- vérification de l'état et de la tenue des déflecteurs ;
- inspection plus détaillée avec un ingénieur spécialisé en barrage gonflable (fournisseur de la baudruche, conseil ou bureau d'études,…).

Enfin, sur certains ouvrages, notamment ceux équipant les voies navigables allemandes, une inspection de la baudruche vidée est programmée tous les cinq ans, avec mise en place préalable d'un batardeau de maintenance en période hydraulique favorable.

Cette opération permet d'observer la ou les ligne(s) d'ancrage ainsi que la membrane (repérage des fissures, évolution, tenue des réparations éventuelles, etc…).

Le nombre de « crevaisons » recensé est très faible. La plupart du temps, pour les réparations, les Maîtres d'Ouvrage ont recours aux services de l'installateur (garantie contractuelle particulière) qui intervient sans démontage de la bouchure.

Pour les BGVM, si ce commentaire n'est pas fondé sur un constat, le nombre de pièces constituant la bouchure est plus important et peut nécessiter un peu plus de moyens : corrosion des clapets si acier peint, correction du jeu entre volets en cas de choc, reprise des étanchéités inter-panneaux et latérales, remise en tension des sangles de maintien, …

RENOUVELLEMENT

Le renouvellement généralement programmé est un remplacement de la membrane tous les trente ans. Les inspections intermédiaires (inspections détaillées décrites précédemment) permettent au Maître d'Ouvrage de juger de la prolongation ou non de la période de renouvellement. Cette opération peut également être l'occasion de remplacer certaines pièces d'ancrage qui s'avéreraient défectueuses.

Pour les BGVM comme pour les BG, tout renouvellement impliquant un démontage des ancrages impose un batardage de maintenance et une mise à sec.

- le BGVM de type Obermeyer visité en Allemagne devait faire l'objet d'un renouvellement partiel : remplacement d'un élément modulaire de baudruche par précaution suite à départ de feu au pied du barrage. L'élément à remplacer implique un démontage du clapet (ancrage clapet et baudruche unique) et de ce fait une mise à sec de l'amont de la passe ;
- le BG gonflé à l'eau visité en France dans le Var a fait l'objet d'un renouvellement complet en 2001, soit un peu plus de trente ans après son installation (1970). Il a nécessité une mise à sec de la passe pour accéder aux ancrages et démonter la bouchure. Les ancrages démontés se sont avérés être dans un état très satisfaisant contrairement aux craintes du Maître d'Ouvrage ;
- le BG gonflé à l'eau slovène fait l'objet depuis 2005 d'un programme de renouvellement d'une de ses membranes chaque année environ, après plus de 25 ans de service. Quatre des cinq baudruches ont ainsi été remplacées par précaution au vu de l'état des membranes.

Le coût de ces renouvellements est relativement faible en comparaison du coût de construction des barrages :

- 20 000 euros environ pour la fourniture et mise en place (hors batardage) d'un élément modulaire de baudruche Obermeyer
- 85 000 euros pour le renouvellement de la baudruche et ancrage de Gapeau
- 50 000 euros pour le renouvellement d'une baudruche de Majdicev Log

PASSERELLE D'EXPLOITATION

Le barrage gonflable n'impose pas la présence d'une passerelle d'exploitation, puisque aucun organe de manœuvre n'est présent sur pile à l'axe du barrage. Sur treize ouvrages visités, seul trois barrages en sont pourvus.

Lorsqu'une passerelle est installée, celle-ci est généralement ouverte au public. Le positionnement de la passerelle est généralement un plus pour l'aménagement : continuité piétonnière pour les riverains, aspect pratique pour l'exploitant lors des inspections, atouts pour les opérations de batardage, signalisation fluviale,…

Le positionnement de la passerelle doit toutefois être réfléchi. Lorsque celle-ci est trop proche de la baudruche, cela peut faciliter le vandalisme (cas du barrage de Selikum).

6.6 Aspects environnementaux

ASPECTS PISCICOLES

La majorité des ouvrages visités dispose ou disposera prochainement de passes à poissons. La problématique piscicole est identique, tant en montaison à l'étiage qu'en dévalaison lors des crues, aux autres systèmes de bouchure fonctionnant par surverse (clapet traditionnel par exemple).

OXYGENATION DE L'EAU

L'oxygénation de l'eau est permise par la mise en place de déflecteurs de type bec verseur (technologie Bridgestone mise en place sur le barrage de Kiebingen) ou de type brise lame (technologie Floecksmuhle ou Hydroconstruct mise en place sur les barrages de Bannetze, et Lechbruck) suivant le type de bouchure installée.

TRANSPORT SOLIDE

Le transport sédimentaire est permis par l'effacement des baudruches lors des passages de crue ou lors d'opérations d'entretien. Ces opérations sont plus facilement réalisables pour les barrages ayant des temps de manœuvre courts (gonflage à l'air).

RISQUE DE POLLUTION

Les barrages gonflables semblent générer moins de risque vis-à-vis de la pollution du milieu aquatique :

- aucun élément implanté dans le cours d'eau ne nécessite d'apport de graisse ou d'huile ;
- l'absence d'organes de manœuvre sur pile supprime les pollutions accidentelles (rupture de flexible).

CONSOMMATION ENERGETIQUE

Les barrages visités sont relativement économes en énergie, la puissance installée n'a pour objet que l'alimentation de vannes motorisées ou de pompes (circuits de remplissage vidange).

Pour exemple, les consommations relevées sont les suivantes :

- barrage de Lechbuck : 1200kWh/an
- barrage de Viareggio : 500kWh/an

6.7 Intégration architecturale et paysagère

L'intégration architecturale et paysagère des ouvrages visités est différente pour chaque site. Certaines constantes sont toutefois relevées ci-après. Elles restent du domaine de l'appréciation et seraient à reformuler par un spécialiste du domaine pour tout nouvel ouvrage aménagé.

DEPUIS L'AMONT

Les solutions gonflables ne nécessitent pas d'ouvrages en superstructure. Leur insertion architecturale en est généralement facilitée : transparence de l'ouvrage depuis l'amont en l'absence de passerelle, traitement linéaire horizontal « sobre » lorsqu'une passerelle est installée.

DEPUIS L'AVAL

Les bouchures gonflables observées depuis l'aval peuvent donner un aperçu différent selon qu'un déversement soit constant sur tout le linéaire ou dirigé sur une partie de la passe : la perception d'un V-Notch depuis l'aval du barrage (BG avec gonflage à l'air pour forts débits) est souvent déstabilisante.

De la même façon, la couleur généralement sombre ou noire des membranes (BG et BGVM) peut jurer dans l'environnement. Cette perception est nettement diminuée dans un environnement minéral ou lorsque le barrage fonctionne en surverse.

Enfin, les baudruches modulaires vues pour certains BGVM, ainsi que les sangles de retenue repliées de façon non régulière peuvent perturber la perception empirique d'un non initié quant à la fiabilité de l'ouvrage.

6.8 Points technologiques importants

6.8.1 Phénomènes d'instabilité

BG GONFLE A L'AIR

Comme expliqué précédemment, le phénomène de V-notch est le principal phénomène identifié sur les barrages gonflés à l'air. Il ne semble pas être rédhibitoire à l'installation de ce type de barrage, les exploitants rencontrés s'en accommodant. Deux philosophies ont été observées pour les barrages visités :

- le barrage fonctionne en « tout ou rien » pour éviter la formation du phénomène ;
- le barrage régule sur toute la gamme des débits. Le phénomène de V-notch se forme souvent proche d'une des piles ou culées, il peut s'étendre à une partie du barrage en formant un U, voire à la quasi-totalité du barrage. Une attention particulière peut ensuite être apportée au suivi de l'état de la baudruche selon les enjeux du barrage (Cf. barrage de Turkheim).

BG GONFLE A L'EAU

Concernant les barrages gonflés à l'eau, le phénomène d'instabilité parfois observé (non lors des visites mais par les exploitants et fournisseurs) serait un phénomène vibratoire que l'on pourrait décrire comme un « ballotement » de l'ensemble de la baudruche sous certaines contraintes hydrauliques, pour des hauteurs aval importantes, lorsque celle-ci n'est pas équipée de déflecteurs (Cas du barrage de Gapeau).

Pour les voies navigables allemandes, la mise en place de déflecteurs permet d'annihiler ce phénomène (Cas du barrage de Marklendorf et Bannetze).

BG A VOLETS METALLIQUES

Concernant le BGVM, la question des vibrations pour des hauteurs d'eau aval importantes a été posée sans que ces phénomènes n'aient été observés par les exploitants/propriétaires.

6.8.2 Systèmes de sécurité

Sur les treize barrages visités, plusieurs systèmes de sécurité permettent une action sur le barrage selon les évènements :

- non-effacement en cas de crue : Un système mécanique simple permet de vidanger le barrage en cas de montée importante du niveau amont sans réaction du barrage. A l'aide d'un flotteur relié au niveau de la cote d'eau considérée comme critique, une vanne ou un évent s'ouvre pour permettre de laisser échapper l'eau ou l'air de remplissage : le barrage s'efface pour laisser passer la crue ;
- sur-gonflage : Ce dispositif permet d'éviter un sur-gonflage de la baudruche en cas de défaut du système de contrôle/commande (pompe en marche continue, défaut d'un capteur,…). Pour le gonflage à l'air, cela consiste en la mise en place d'une soupape en liaison avec la baudruche qui libère l'air en cas de pression trop importante. A noter qu'une pression trop importante peut également être engendrée par de fortes températures extérieures, auxquelles le barrage gonflé à l'air est sensible. Pour le gonflage à l'eau, un système de surverse dans la colonne de régulation limite la hauteur d'eau et donc la pression dans la baudruche ;
- défaut du système d'alimentation : En cas de panne d'un compresseur, de défaut de capteurs, etc., un système de by-pass permet de solliciter un système d'alimentation de secours ou le système d'alimentation d'une autre passe du barrage dans le cas où le barrage comporterait plusieurs passes alimentées de manière indépendante ;
- gel des eaux de remplissage : Pour les barrages gonflés à l'eau, l'exposition de la baudruche sans surverse à des épisodes de grand froid peut engendrer le gel des eaux de remplissage en surface. Afin d'éviter le phénomène, des cycles de circulation des eaux sont déclenchés régulièrement afin d'éviter la prise du gel.

6.8.3 Pression de fonctionnement

BARRAGE GONFLABLE SEUL

Les pressions de gonflage pour les barrages gonflables à l'air sont de l'ordre de la hauteur du barrage en équivalent bars, à savoir 0,1bar par mètre de hauteur de barrage.

Afin de permettre la surverse du barrage, des surpressions sont prises en compte, de l'ordre de 10 à 20% pour le gonflage à l'air, de l'ordre de 50 à 60% pour le gonflage à l'eau.

BARRAGE GONFLABLE A VOLETS METALLIQUES

Concernant le BGVM, les pressions sont plus importantes du fait de la présence du clapet.

Pour le fournisseur Obermeyer, elles sont de l'ordre d'1bar pour un barrage de 2m de haut. A partir de 4m de haut, la baudruche est dédoublée pour limiter la pression.

Pour le fournisseur Hydro Air Bank, le fait de disposer d'une baudruche unique permet une meilleure répartition des charges et une limitation des pressions, de l'ordre de 0,4bars pour un barrage de 1,8m de haut.

6.8.4 Temps de gonflage/dégonflage

Le temps de gonflage/dégonflage est fonction des enjeux propres à chaque aménagement, de la technologie employée et des dimensions de l'ouvrage.

En effet, il est difficile de comparer les ouvrages visités entre eux, puisque le temps de gonflage/dégonflage est généralement un choix technico-économique de Maître d'Ouvrage : des dispositions constructives peuvent permettre d'optimiser le remplissage ou la vidange, mais elles ont un coût : capacité des compresseurs, diamètre des canalisations, …

Pour les barrages visités, une approche indicative au m² de bouchure a été menée :

- le temps de dégonflage est en moyenne, par rapport au temps de gonflage :
  - gonflage à l'air : similaire à légèrement plus rapide
  - gonflage à l'eau : une à deux fois plus rapide (selon le niveau aval)
  - le BGVM : deux à trois fois plus rapide
- le temps de gonflage à l'eau est quatre à cinq fois plus lent que celui à l'air, et trois fois plus lent que celui pour le BGVM.

Ces chiffres sont bien entendu à prendre avec beaucoup de précautions, ces approches n'étant menées que sur un faible échantillon de barrages aux caractéristiques différentes.

6.8.5 Tableau récapitulatif

Le tableau qui suit récapitule certaines caractéristiques de fonctionnement des barrages visités :

Nom	Largeur utile	Hauteur utile	Gonflage	T° min moyenne	T° max. moyenne	pression de fonctionnement
Alès	23m	1,5m	Air	2	30	135 millibars
Selikum	2 x 8.1m	1,6m	Air	-1	24	115 millibars
Bannetze	2 x 21m	2,35m	Eau	-3	22	3,75mCE[10]
Marklendorf	2 x 21.4m	2,32m	Eau	-3	22	3,60mCE
Lechbruck	27m + 3 x 47m	3,35m 1,25m	Eau	-7	20	5,35mCE 2,0mCE
Turkheim	32m	3,7m	Air	-13	30	360 millibars
Oberhofer	22m	2,15m	Air (BGVM)	-13	30	1,15 bar
Eisenbahner	2 x 45,2m	0,43m	Air	-13	31	75 millibars
Kiebingen	2 x 23m	3,4m	Air	-3	24	315 millibars
Gapeau	27,5m	1,0m	Eau	5	29	1,5mCE
Viareggio	10m	1,8m	Air (BGVM)	1	31	400 millibars
Pistoia	24m	0,8m	Air (BGVM)	1	31	120 millibars
Majdicev Log	50	1.1	Eau	-4	27	1,5mCE

[10] mCE : mètre Colonne d'Eau

6.9 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Les problèmes de fonctionnement cités par les interlocuteurs rencontrés, Maîtres d'Ouvrage et Exploitants, sont souvent liés à des défauts de réalisation ou des manquements en conception, et sont assez rapidement résolus.

CONTROLE COMMANDE

La plupart des problèmes rencontrés ne sont généralement pas liés à la technologie des barrages gonflables à proprement parler, mais plutôt à la problématique des barrages mobiles (problème d'énergie, défauts de capteur, télégestion obsolète voire absente,…). Les dysfonctionnements liés aux automatismes, identiques quel que soit le type de bouchure, ne sont pas traités dans ce document.

CREVAISONS

Les principaux problèmes liés à la technologie du barrage gonflable sont des crevaisons dues aux vandalismes ou aux passages d'enrochements lors des crues pour un barrage effacé. Pour ce dernier cas, il semble que la définition de la membrane (matériaux, épaisseur) aurait probablement pu permettre d'éviter les désordres constatés.

En fonction des niveaux aval (radier surélevé), des objets coupant peuvent également venir se déposer sous la baudruche et perforer la membrane lors d'opérations de dégonflage.

Selon les exploitants, les fuites engendrées sont le plus souvent minimes et le système de remplissage compense par un sur-pompage. Les réparations sont programmées lors d'une période hydraulique favorable pour permettre une intervention sur place, avec ou non mise en place d'un système de batardage.

Le principe consiste à venir coller un morceau de membrane, de type rustine, pour colmater la fuite. En cas de gonflage à l'eau, une pièce en bois ou caoutchouc est mise en place au droit de l'orifice pour le boucher et permettre un travail au sec.

Ces problèmes de crevaison (par vandalisme ou accidentelle) ne sont pas du tout systématiques et dépendent fortement des conditions de chaque site (accès, contexte politique de l'aménagement, configuration du barrage,…).

Aucun cas de crevaison par choc d'arbre n'a été rencontré sur les barrages visités malgré leur passage assez fréquent par-dessus le barrage. A noter que la technologie « barrage gonflable » permet, aux dires de certains exploitants, un passage plus aisé d'arbres par-dessus la baudruche du fait de sa structure souple.

Nom	Embâcles
Alès	Crue 2002 : blocs de roche de 500kg
Selikum	Arbres, passent sur le barrage
Bannetze	Arbres, passent sur le barrage
Marklendorf	Arbres, passent sur le barrage
Lechbruck	Arbres, passent sur le barrage ou sont récupérés par le dégrilleur de la centrale Crue 2005 : chocs de roches -> descellement ancrage aval
Turkheim	Arbres, passent sur le barrage
Oberhofer	Arbres, passent sur le barrage ou sont récupérés par le dégrilleur de la centrale
Eisenbahner	Arbres, passent sur le barrage ou sont récupérés par le dégrilleur de la centrale
Kiebingen	Arbres, passent sur le barrage ou sont récupérés par le dégrilleur de la centrale Possibilité d'objets coupants se coinçant sous la membrane, mais limitée par surélévation de la baudruche et inspections régulières
Gapeau	Arbres : gestion en amont pour limiter le nombre, sinon passent sur le barrage
Viareggio	Non
Pistoia	Arbres, passent sur le barrage

7. Conclusion

Les barrages visités apportent généralement entière satisfaction aux Maîtres d'Ouvrage et Exploitants.

Lorsque ce n'est pas totalement le cas, les griefs reprochés sont dus à une vétusté des installations ou un manque d'investissement au regard des enjeux du barrage. Une grande partie des contraintes que pouvait engendrer cette technologie a été résolue par de petits travaux de maintenance ou le renouvellement de la membrane avec les technologies actuelles qui permettent une meilleure résistance qu'il y a 20 ou 30 ans.

Les principaux avantages de cette technologie avancés par les Maîtres d'Ouvrage et Exploitants sont :

- coûts de réalisation plus faibles que les solutions classiques (type vanne ou clapet métallique) ;
- faibles coûts de maintenance (pas de problème de corrosion), d'exploitation et de fonctionnement (consommation énergétique) ;
- sécurité vis-à-vis de l'affaissement de la bouchure à l'approche des crues ;
- pas de pollution (rejet d'huile des organes de manœuvre) ;
- intégration paysagère.

Les limites de fonctionnement sont :

- plus grande exposition aux vandalismes, même si les cas sont rares et sans gravité.

Afin de synthétiser le retour d'expérience sur les barrages gonflables à l'air, à l'eau et les BGVM, le tableau ci-après récapitule les principaux éléments à retenir.

Critères		Barrage Gonflage à l'air	Barrage Gonflage à l'eau	BGVM
Régulation	Gamme de débit	Régulation sur une petite gamme de débits avant apparition du V-notch Possible au-delà, selon les barrages, mais contrôle des débits assez laborieux	Régulation sur toute la gamme de débits	Régulation sur toute la gamme de débits
	Précision	+/- 2 à 10cm	+/- 2 à +/- 5cm	+/- 2 à +/- 5cm
Gestion des passes		Souvent en « tout ou rien », possible en progressive si abstraction du phénomène de V-notch	Progressive	Progressive ou en « tout ou rien » selon la fonction de l'ouvrage
Configuration	Largeur minimale du radier	1,8 fois la hauteur du barrage	2,4 fois la hauteur du barrage	1,1 à 1,3 fois la hauteur du barrage
	Piles et culées	Bajoyers inclinés (1H/3V à 3H/2V) ou verticaux (formation d'un pli) Faible largeur de pile en tête (0,5m)		Verticaux, nécessite un traitement pour étanchéification Pile facultative
	Ancrage	Simple, sauf si hauteur aval importante	Double	Simple, inclut l'ancrage du volet
Coût de réalisation		Variables selon les systèmes mis en place, les prestations réalisées, les fournisseurs et les besoins des Maîtres d'Ouvrage		
Maintenance/ Exploitation	Commun à tous	Relevé des données Contrôle visuel amont et aval Test de gonflage/dégonflage partiel Test des capteurs Inspections détaillées avec batardage préalable		
	Spécifique	Purge des eaux de condensations dans les canalisations	Purge de l'air coincé dans la baudruche Curage des colonnes de régulation	Purge des eaux de condensation dans les canalisations
	Renouvellement	Possible après batardage Coût souvent faible	Possible après batardage Coût souvent faible	Possible après batardage Coût souvent faible si ne concerne qu'un module
	Batardeau	Souvent présent à l'amont		
	Passerelle	Rarement présente, mais facile les opérations de maintenance/exploitation		

Critères		Barrage Gonflage à l'air	Barrage Gonflage à l'eau	BGVM
	d'exploitation			
	Coûts	Faibles		
Aspects environnementaux	Aspects piscicoles	Identique à d'autres bouchures		
	Oxygénation de l'eau	Favorisée par la mise en place de déflecteurs type bec-verseur	Favorisée par la mise en place de déflecteurs type brise-lame	Permise par les clapets
	Transport solide	Permis assez facilement par l'effacement de la bouchure lors de crues ou lors d'opérations d'entretien (temps de gonflage court)	Permis assez facilement par l'effacement de la bouchure lors de crues	Permis assez facilement par l'effacement de la bouchure lors de crues ou lors d'opérations d'entretien (temps de gonflage court)
	Pollution	Risque limité		
	Consommation énergétique	Faible	Faible	Assez faible
Intégration architecturale et paysagère		Facilitée par l'absence de passerelle Perception du V-notch déstabilisante	Facilitée par l'absence de passerelle	Facilitée par l'absence de passerelle Aspect modulaire avec irrégularités des sangles
Phénomènes vibratoires		V-notch si lame déversante > 10 à 20% de la hauteur du barrage	« Ballotement » de la baudruche pour hauteurs aval importantes, sauf si mise en place de déflecteurs	Dans le cas de baudruche continue gonflée à l'air, apparition à priori de vibrations en cas de hauteur de chute non négligeable pour un barrage partiellement gonflé. Le gonflage à l'eau est alors préféré. Dans le cas d'une modularité des baudruches, vibrations à priori inexistantes.
Système de sécurité	Commun	Vidange en cas de non-effacement lors de crues Trop plein ou soupape en cas de sur-remplissage Système de secours en cas de panne ou défaut du système d'alimentation		
	Spécifique	Contrôle de la température intérieure	Recirculations des eaux pour éviter la prise du gel	-
Pression de fonctionnement		0,1bar par m de hauteur de barrage, + 10 à 20% pour prise en compte de la surverse	Hauteur du barrage en mCE + 50 à 60% pour prise en compte de la surverse	Supérieure aux BG en raison de la présence des clapets
Temps de gonflage indicatif	Comparaison dégonflage/gonflage	Sensiblement identique	Une à deux fois plus rapide, mais dépend du niveau aval	Deux à trois fois plus rapide
	Comparaison gonflage/gonflage du barrage à l'air	-	Quatre à cinq fois plus lent	Trois fois plus lent
Vulnérabilité	Vandalisme	Sensible mais fuites souvent minimes compensées par un sur-pompage		Sensible à l'aval mais fuites souvent minimes compensées par un sur-pompage
	Passage d'arbres	Aucun cas de crevaisons par chocs d'arbres rencontrés malgré leur passage fréquent par-dessus le barrage. Passage à priori facilité par la souplesse de l'ouvrage		Insensible Passage peut nécessiter intervention (abaissement, voire enlèvement)
	Passage d'enrochements lors de crues	Sensible mais fuites souvent minimes compensées par un sur-pompage Dispositions possibles pour limiter les cas		Protection du clapet

8. Fiches des barrages visités

SOMMAIRE

FICHE D'OUVRAGE N°1 : BARRAGE D'ALES 45

FICHE D'OUVRAGE N°2 : BARRAGE DE SELIKUM 63

FICHE D'OUVRAGE N°3 : BARRAGE DE BANNETZE 77

FICHE D'OUVRAGE N°4 : BARRAGE DE MARKLENDORF 93

FICHE D'OUVRAGE N°5 : BARRAGE DE LECHBRUCK 109

FICHE D'OUVRAGE N°6 : BARRAGE DE TURKHEIM 133

FICHE D'OUVRAGE N°7 : BARRAGE DE OBERHOFER 147

FICHE D'OUVRAGE N°8 : BARRAGE DE EISENBAHNER 167

FICHE D'OUVRAGE N°9 : BARRAGE DE KIEBINGEN 182

FICHE D'OUVRAGE N°10 : BARRAGE DE GAPEAU 199

FICHE D'OUVRAGE N°11 : BARRAGE DE VIAREGGIO 219

FICHE D'OUVRAGE N°12 : BARRAGE DE PISTOIA 233

FICHE D'OUVRAGE N°13 : BARRAGE DE MAJDICEV LOG 243

FICHE D'OUVRAGE N°14 : BARRAGE D'AUXONNE 261

FICHE D'OUVRAGE N°15 : BARRAGE DE VILLERS DEVANT MOUZON 277

FICHE D'OUVRAGE N°16 : BARRAGE DE ACKERMANN 287

FICHE D'OUVRAGE N°17 : BARRAGE DE BAHNITZ 289

FICHE D'OUVRAGE N° 18 : BARRAGE DE CUNEO TANARO 291

FICHE D'OUVRAGE N°19 : BARRAGE DE ERLANGEN 293

FICHE D'OUVRAGE N°20 : BARRAGE DE FRIANT 295

FICHE D'OUVRAGE N°21 : BARRAGE DE PADOVA 297

FICHE D'OUVRAGE N°22 : BARRAGE DE RAMSPOL 299

FICHE D'OUVRAGE N°23 : BARRAGE DE SINNISSIPPI 301

Fiche d'ouvrage n°1 : Barrage d'Alès

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 46

1.1 Description du cours d'eau 46

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 46

1.3 Détail de son fonctionnement 47

1.4 Points technologiques importants 47

1.4.1 Le gonflage 47

1.4.2 Le système de purge 48

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 49

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 49

1.7 Maintenance 49

1.8 Aspects environnementaux 50

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 50

2.1 Vue satellite 50

2.2 Vues du barrage 50

2.3 Vue de détail 52

2.4 Vues des environs 52

2.4.1 Amont 52

2.4.2 Aval 53

3. PLANS 54

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 59

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière du Gardon est un cours d'eau dont les crues sont connues pour leur violence et leur rapidité. Ce cours d'eau traverse la ville d'Alès. Les besoins de maintien du plan d'eau pour un usage récréatif et la problématique des gestions de crue ont poussé la ville à se diriger vers la technologie du gonflable. De plus, le maintien d'un plan d'eau permet également le maintien du niveau des nappes phréatiques dans les alentours pour la viticulture.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- Qétiage = 0,3m3/s
- Q_{moyen} = 30m3/s
- Q_{100} = 2400m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 2002, 200m en amont d'un ancien seuil. Seule la partie centrale du barrage a été aménagé au moyen d'une baudruche gonflable. Le barrage se décompose donc en 2 seuils fixes de 26m et 16,5m de long et 1,5m de haut, et une passe gonflable de 23m de long et 1,5m de haut. L'appel d'offre était une conception réalisation. Le type de bouchure n'était pas imposé. Deux solutions ont été proposées : la bouchure gonflable et le barrage à aiguilles (en bois).

Les piles séparant chaque partie du barrage ont une largeur d'1m. Seul le bajoyer coté « barrage gonflable » est incliné selon une pente de 3H/ 5V.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage est maintenu totalement gonflé, avec un contrôle de la pression interne géré de manière automatique. La hauteur à tenir est de 1,50m. Pour cela, la consigne de pression interne de la membrane est de 135 millibars. Un contrôle s'effectue automatiquement toutes les 15 minutes, si la pression descend sous 130 millibars le compresseur se met en marche jusqu'à 145 millibars.

Les variations de la hauteur du plan d'eau sont gérées en mode manuel par l'exploitant qui est en lien permanent avec Vigicrue (une station est présente à l'amont du barrage) et Météo France. L'effacement du barrage est ainsi engagé lors d'une annonce d'alerte orange ou lors d'une montée du plan d'eau de plus de 20cm. Cette hauteur a été fixée par rapport à la présence d'un parking en rive gauche, qui est inondé pour un plan d'eau plus haut. Un système automatique permettait cette régulation mais plusieurs incidents et défauts du fait des fortes températures observées dans le local (60°C en été) ont incité son abandon. De plus, une prise du niveau amont avait été réalisée au moyen d'une conduite noyée sous le béton de fondation qui remontait en rive et accueillait un flotteur, mais celui-ci est hors service suite à des problèmes de corrosion.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le gonflage se fait à l'air au moyen de deux compresseurs dont un de secours, moins puissant. En cas de volonté de manœuvre plus rapide, les deux organes peuvent fonctionner en même temps. Ceux-ci sont situés dans un local en rive droite.

Une seule canalisation est nécessaire pour gonfler ou dégonfler la baudruche. Une soupape permet également l'évacuation d'air en cas de pression trop importante.

Le temps de gonflage est de l'ordre de 15 à 30 minutes (30 à 40 minutes avec le compresseur de secours), celui du dégonflage de l'ordre de 20 à 25 minutes.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans les canalisations d'alimentation en air et de contrôle de la pression interne de la baudruche.

Un puisard est présent en rive droite afin de permettre un regard sur ces canalisations, mais un défaut de conception a engendré son ennoiement.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique pour ce qui est du maintien du plan d'eau. Il remplit pour cela parfaitement sa fonction. Concernant son effacement, le mode d'exploitation du barrage (1 exploitant à plein temps pour la gestion du barrage) et les besoins en terme de précision de régulation ne nécessitent pas de système automatique. Néanmoins, le système de télégestion mis en place nécessite une modernisation qui sera effective courant 2011 (coût des travaux : 30 000€).

L'exploitant sera ainsi alerté par SMS et un système de transmission des données du barrage par internet permettra de récupérer les informations que sont les cotes de niveaux amont et aval, la pression interne du barrage, etc.

Ce barrage a très bien fonctionné lors de la crue de 2002 (3300m3/s), ce qui a confirmé le Maître d'Ouvrage dans son choix et a fait la renommée du barrage pour les habitants qui le décriaient à sa réalisation.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

- Plusieurs soucis avec l'automatisme (non fonctionnement ou fonctionnement erratique) du fait d'une température importante dans le local de contrôle/commande, de l'ordre de 60°C, pour une température de fonctionnement de 25°C. Un de ces incidents a engendré une montée du plan d'eau de 1,5m au dessus du barrage. L'automatisme sur le contrôle de la mesure de hauteur d'eau et de l'affaissement de la baudruche a donc été abandonné. Le système de télégestion doit être modernisé prochainement (gestion du barrage par internet, alertes par sms,…).
- Suite à des coupures EDF, le barrage s'est effacé en raison de l'absence de groupe de secours et de la sécurité vis-à-vis de la foudre, qui signifierait la présence d'un orage et donc un risque de montée des eaux.
- Plusieurs pannes du compresseur ont entrainé la mise en place d'un compresseur de secours.
- Suite à la crue de 2002, une baisse de pression récurrente a été observée lors du regonflable du barrage témoignant de petites perforations sur la membrane, certainement dues au passage de blocs d'enrochement.
- Deux cas de vandalisme ont été observés. Un premier sur le système d'alimentation électrique, un second directement sur la membrane par coups de couteaux qui a engendré la mise à sec et réparation de la membrane sur place.
- Des problèmes de condensation dans les canalisations entrainent la création de bouchons d'eau qui faussent les mesures de pression. Des travaux (d'un montant de 3000€) vont être réalisés pour résoudre ce problème, qui proviendrait de flexibles troués.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et de la maintenance du barrage. Celui-ci passe chaque jour pour un simple contrôle du niveau d'eau et une fois tous les 15 jours pour réaliser la purge des conduites d'alimentation en air et le contrôle de l'automate (simulation de perte de pression pour mise en route du compresseur). Une inspection de contrôle de la membrane est également effectuée après une crue afin de vérifier son état.

Deux fois par an, le barrage est vidangé pour permettre de réaliser des chasses sédiments, une inspection de la membrane et son nettoyage.

1.8 Aspects environnementaux

La réalisation d'une passe à poissons en rive droite est programmée pour le courant de l'année 2011. Son coût est estimé à 75 000 euros.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

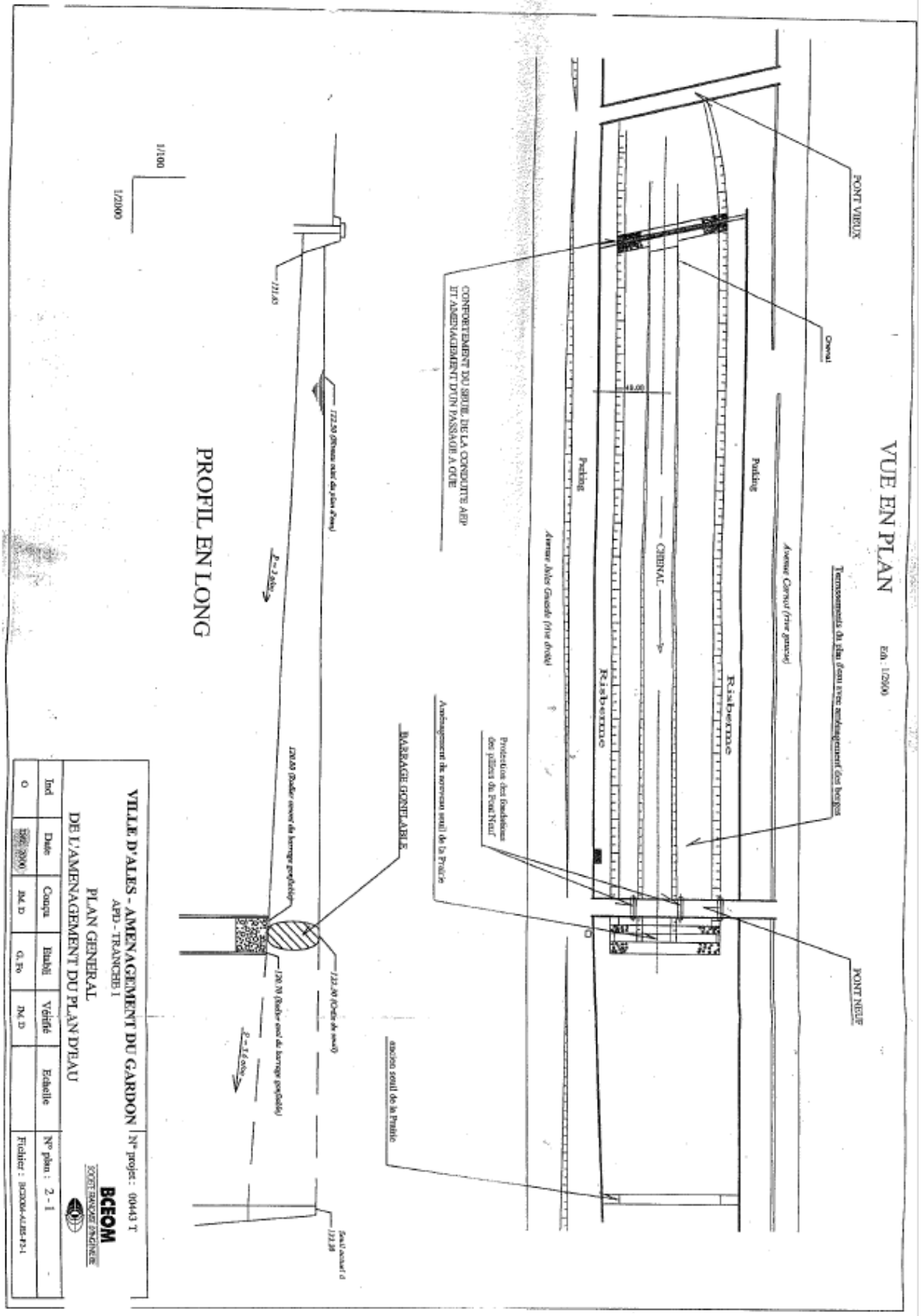
2.3 Vue de détail

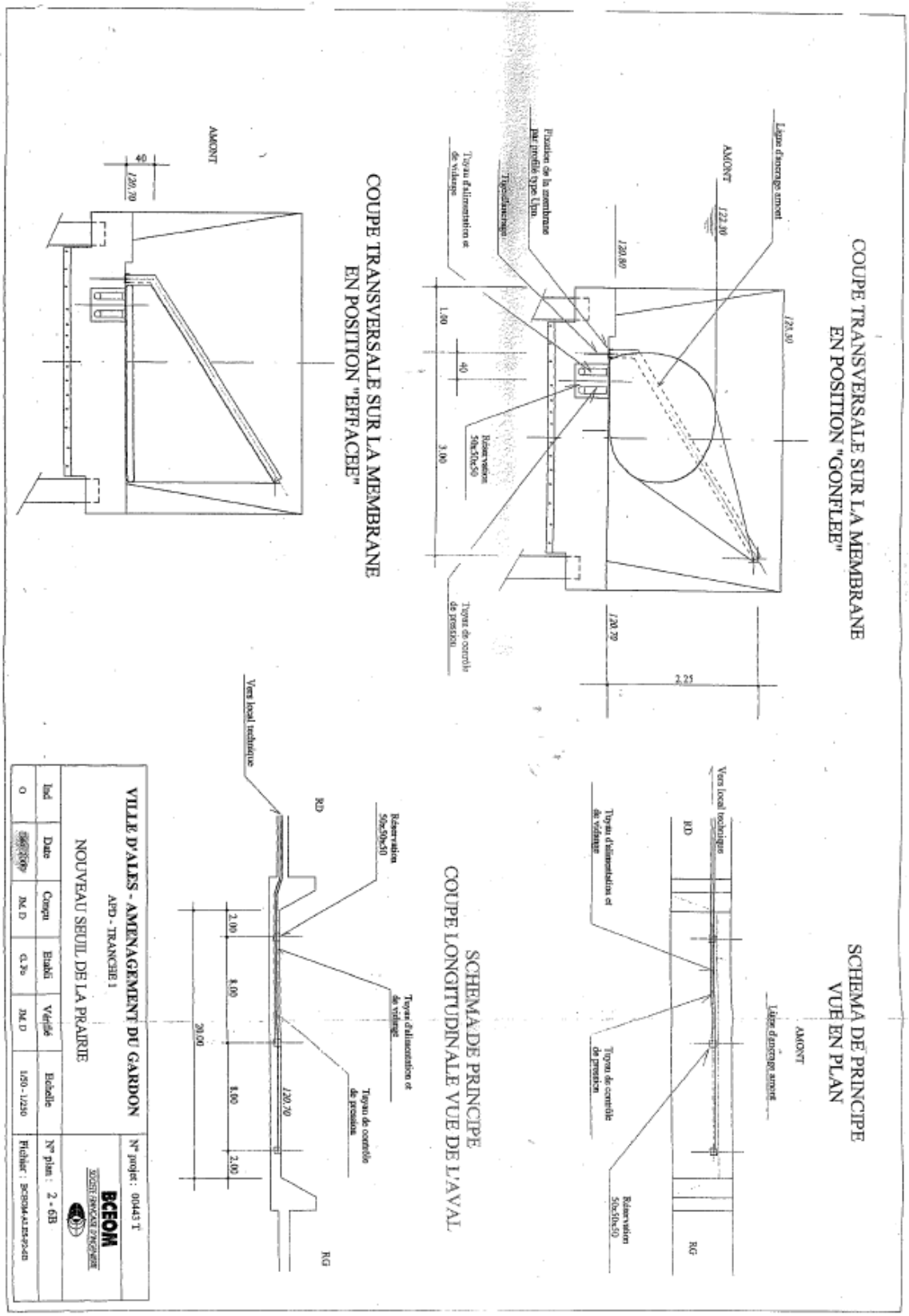
2.4 Vues des environs

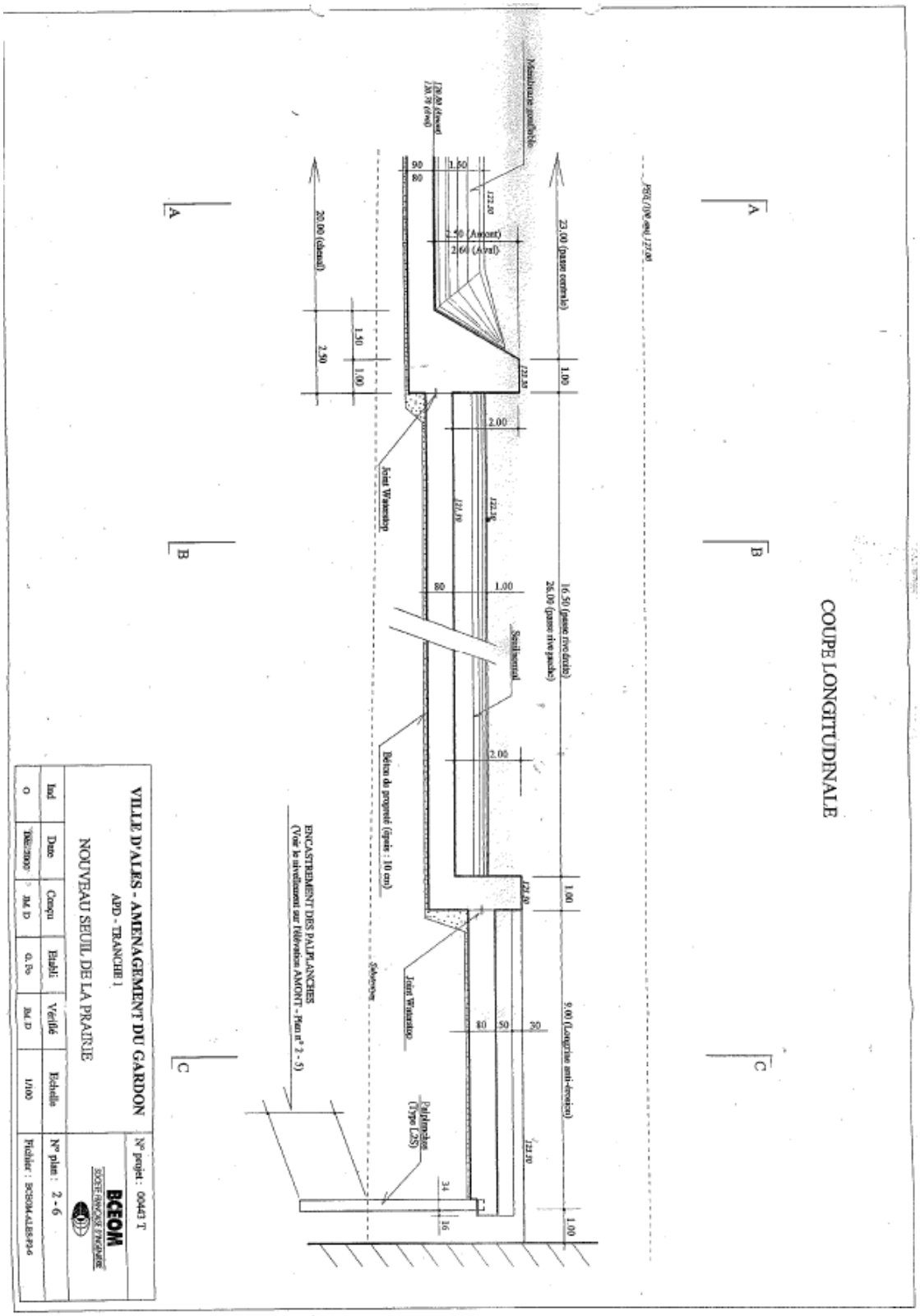
2.4.1 Amont

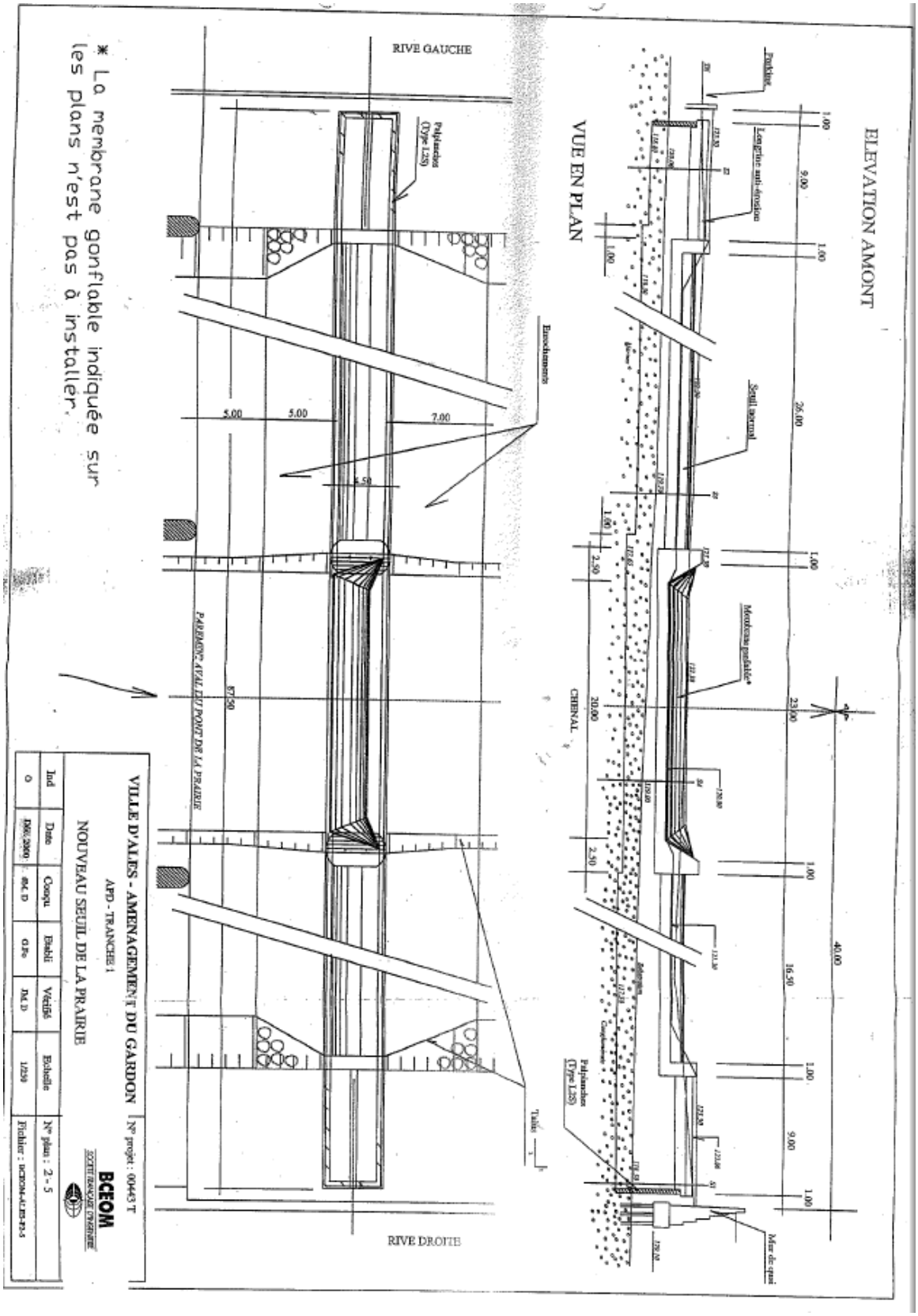
2.4.2 Aval

3. Plans

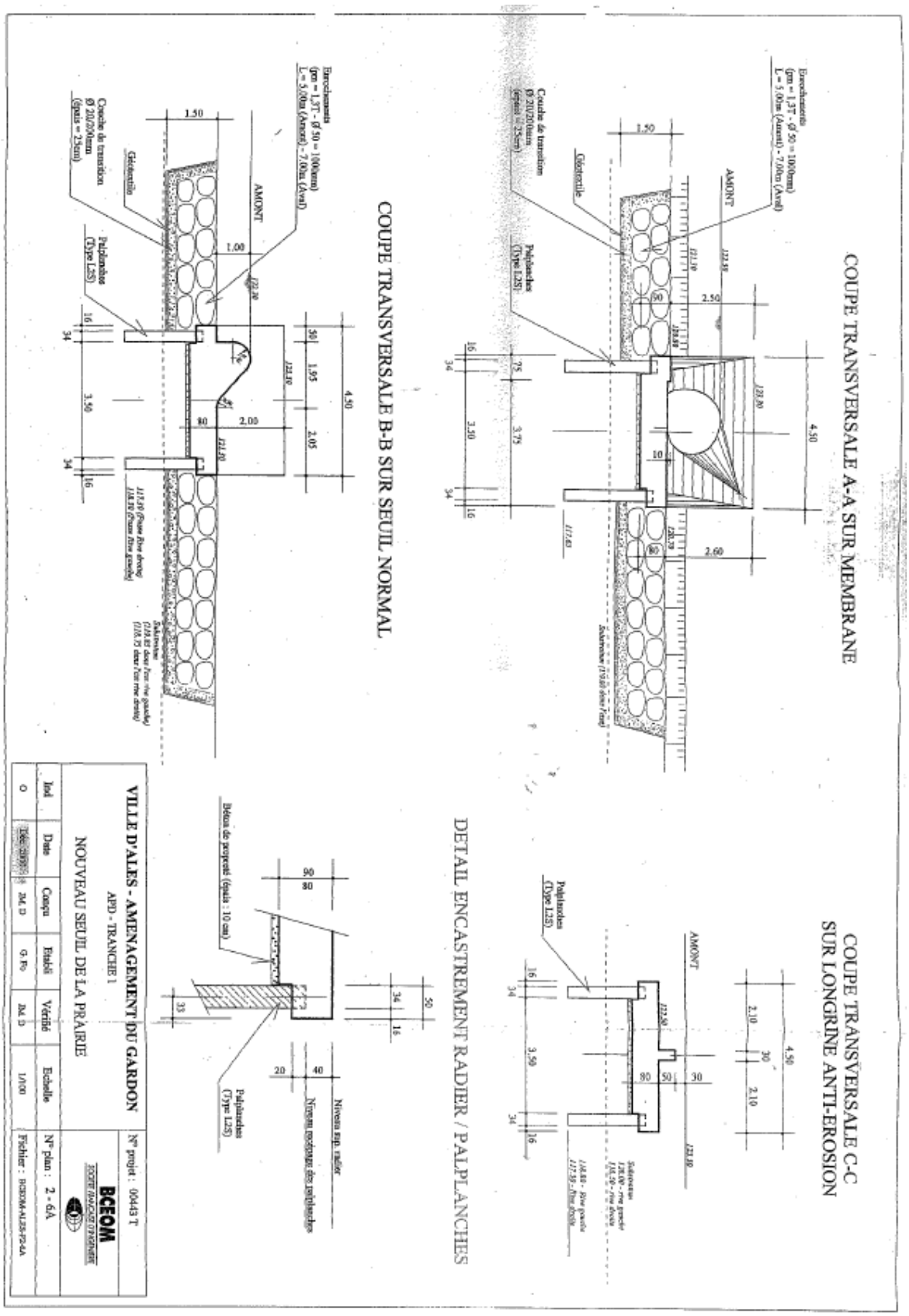

VUE EN PLAN
Etb. 1/2000
PONT VIEUX
PONT NEUF
Chenal
Terrassements du plan d'eau avec aménagement des berges
Avenue Carnot (rive gauche)
Avenue Jules Guesde (rive droite)
Parking
Parking
Rasberme
Rasberme
CHENAL
CONFORTEMENT DU SEUIL DE LA CONDUITE AEP
ET AMENAGEMENT D'UN PASSAGE A GUE
Protection des fondations
des piliers du Pont Neuf
Aménagement du nouveau seuil de la Prairie
BARRAGE GONFLABLE
ancien seuil de la Prairie
PROFIL EN LONG
1/100
1/2000
VILLE D'ALES - AMENAGEMENT DU GARDON
APD - TRANCHE 1
PLAN GENERAL
DE L'AMENAGEMENT DU PLAN D'EAU
BCEOM
SOCIETE FRANCAISE D'INGENIERIE
N° projet : 00443 T
N° plan : 2 - 1
Ind
Date
Conçu
Dessiné
Vérifié
Echelle
Fichier :


COUPE TRANSVERSALE SUR LA MEMBRANE
EN POSITION "GONFLEE"
Ligne d'encrage amont
AMONT
122.30
120.80
120.30
Plaquage de la membrane par profilé type Lipn
Tige d'encrage
Tuyau d'alimentation et de vidange
Réservation 50x50x50
Tuyau de contrôle de pression
120.79
2.25
1.80
40
3.00
COUPE TRANSVERSALE SUR LA MEMBRANE
EN POSITION "EFFACEE"
AMONT
40
120.70
SCHEMA DE PRINCIPE
VUE EN PLAN
AMONT
Ligne d'encrage amont
Vers local technique
RD
RG
Tuyau d'alimentation et de vidange
Tuyau de contrôle de pression
Réservation 50x50x50
SCHEMA DE PRINCIPE
COUPE LONGITUDINALE VUE DE L'AVAL
Vers local technique
RD
Réservation 50x50x50
Tuyau d'alimentation et de vidange
Tuyau de contrôle de pression
120.70
RG
2.00
8.00
8.00
2.00
20.00
VILLE D'ALES - AMENAGEMENT DU GARDON
APD - TRANCHE 1
NOUVEAU SEUIL DE LA PRAIRIE
N° projet : 00443 T
BCEOM
SOCIETE FRANCAISE D'INGENIERIE
Ind
Date
Conçu
Etabli
Vérifié
Echelle
N° plan : 2 - 6B
0
JM. D
G. Pe
JM. D
1/50 - 1/250
Fichier : BCEOM-A3-E5-P2-6B


COUPE LONGITUDINALE
PHE (100 ans) 127,00
A
B
C
Membrane gonflable
128,00 (Amont)
126,70 (Aval)
90
80
1,50
122,80
2,50 (Amont)
2,66 (Aval)
23,00 (passe centrale)
1,00
123,80
2,00
122,70
121,10
80
1,00
16,50 (passe rive droite)
26,00 (passe rive gauche)
Seuil normal
2,00
Joint Waterstop
Béton de propreté (épais : 10 cm)
ENCASTREMENT DES PALPLANCHES
(Voir le nivellement sur l'élévation AMONT - Plan n° 2 - 5)
Palplanches
(Type L28)
Joint Waterstop
1,00
121,10
9,00 (Longrine anti-érosion)
80
50
30
34
16
20,00 (chenal)
1,50
1,00
2,50
VILLE D'ALES - AMENAGEMENT DU GARDON
APD - TRANCHE 1
NOUVEAU SEUIL DE LA PRAIRIE
BCEOM
SOCIETE FRANCAISE D'INGENIERIE
N° projet : 00443 T
N° plan : 2 - 6
Fichier : BC8GM-ALES-P2-6
Ind
Date
Conçu
Etabli
Vérifié
Echelle
0
DEC/2000
JM. D
G. Po
JM. D
1/100



* La membrane gonflable indiquée sur les plans n'est pas à installer.


COUPE TRANSVERSALE A-A SUR MEMBRANE
COUPE TRANSVERSALE B-B SUR SEUIL NORMAL
COUPE TRANSVERSALE C-C
SUR LONGRINE ANTI-EROSION
DETAIL ENCASTREMENT RADIER / PALPLANCHES
AMONT
Palplanches (Type L25)
Géotextile
Couche de transition Ø 20/200mm (épais = 25cm)
Enrochements (pm = 1,5T - Ø 50 = 100/0mm) L = 5,00m (Amont) - 7,00m (Aval)
Béton de projectile (épais : 10 cm)
Niveau sup. radier
Niveau recépage des palplanches
VILLE D'ALES - AMENAGEMENT DU GARDON
APD - TRANCHE 1
NOUVEAU SEUIL DE LA PRAIRIE
BCEOM
N° projet : 00443 T
N° plan : 2 - 6A
Echelle 1/1/20
Fichier : RGROM-AL25-P2-6A
Indi
Date
Conqu
Etudié
Vérifié
O

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Barrage du Gardon d'Alès
Localisation	Alès (Gard, France)
Date de la visite	07/12/2010
Maître d'Ouvrage	Communauté d'Agglomération du Grand Alès
Procédé	Gonflage à l'air + seuils fixes
Largeur utile	65,5m dont 23m en gonflable
Hauteur utile	1,5m
Hauteur de chute	Variable selon niveau aval
Nombre de passes	3 (2 seuils fixe en rive, 1 passe centrale en gonflable)
Cours d'eau :	Gardon
Débits caractéristiques	
i. Etiage	0,3m3/s
ii. Moyen	30m3/s
iii. Maximum	Q100= 2400m3/s
But de l'ouvrage	- Maintien d'un plan d'eau à usage récréatif - Gestion de crues - Maintien de la nappe phréatique
Année de réalisation	2002
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non (Etude en cours, travaux prévus pour fin 2012)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Conception réalisation portant sur un barrage composé de trois passes (aux dimensions prédéfinies) dont une passe centrale amovible.
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Variante sur type de seuil mobile
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	L'ensemble a été placé par l'entreprise SATUJO
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	2 offres reçues. La solution non-retenue proposait un système à aiguilles
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Janvier 2002
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation par demi-rivière
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Enceinte de palplanches

Questions	Réponses
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Déchirure de la membrane par mauvaise manipulation d'un tractopelle
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Mise en service au 14 juillet 2002
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	Réalisation et pose de la membrane 4 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non parce que compatible avec les milieux aquatiques
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Mise en fonctionnement de la membrane (gonflage, dégonflage, essai de vidange en urgence...)
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui, la membrane et la télégestion
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	SATUJO
ii. Pour quelle durée ?	1 an
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	-
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	350k€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	150k€ pour la membrane 40k€ pour le système de télégestion
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	- Maintien du barrage totalement gonflé avec contrôle de la pression : consigne à 135 millibars, contrôle tous les 15min, si p<130 millibars le compresseur se met en route jusqu'à 145 millibars. - Abaissement manuel en cas de montée des eaux>20cm de déversement, d'alerte orange ou de coupure d'électricité
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	+/- 5cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Pas de batardage prévu. En cas de besoin d'intervention, le plan d'eau est vidé
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non car pas de besoin
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Défaut de l'automatisme du fait de corrosion du système de mesure de la hauteur amont et de fortes T°C dans le local technique->abandon de l'automate
	Coupures EDF entraînant l'effacement du barrage par rapport à la problématique foudre (voir annexe p10)
	Vandalisme (coup de couteaux sur baudruche + dégradation alimentation électrique)
	2 poinçonnements par enrochements (40m3 de blocs 350-550 kg) suite à crue de 2002
	Panne du compresseur (pas de secours) -> compresseur de secours
	Fuite sur les flexibles d'alimentation
	Problèmes de condensation dans les canalisations à remédier (travaux à venir)
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	- Abaissement intempestif du plan d'eau - Fuites compensées par compresseur
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui, suite aux vandalismes et à la crue de 2002 pour réparation sur place

Questions	Réponses
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Mise à sec de la baudruche pour vulcanisation à froid sur site
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Aucun enlèvement, les embâcles passent sur le barrage
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- Journalière pour contrôle visuel du niveau de surverse (gestion de la régulation) - 1x/15 jours : contrôle des manomètres, purge des circuits d'alimentation en air - Après chaque crue : inspection de la membrane dégonflée
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Flexibilité, maniabilité
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Perméabilité du système, faiblesse de sondes et des automatismes installés, maintenance et inspection mensuelle
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	- 1x/an : changement de batteries pour télégestion - 2x/an : hydrocureuse dans puisard - 1x/an : changement des roulements des compresseurs - Après crue 2002 + vandalisme : réparation des poinçonnements sur membrane - Deux fois par an, opération de chasse des sédiments par abaissement de la baudruche, puis nettoyage - Modernisation du système de télégestion
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	1 personne à plein temps
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	1000 à 3000 euros/an
iii. Renouvellement	1000 euros/an, sauf en 2011 où 30 000 euros ont été dépensés pour moderniser la télégestion

Fiche d'ouvrage n°2 : Barrage de Selikum

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 64

1.1 Description du cours d'eau 64

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 64

1.3 Détail de son fonctionnement 65

1.4 Points technologiques particuliers 66

1.4.1 Gonflage 66

1.4.2 Système de purge 66

1.4.3 Système de sécurité 67

1.5 Coût de l'ouvrage 68

1.6 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 68

1.7 Problèmes de fonctionnement rencontrés 68

1.8 Maintenance 68

1.9 Aspects environnementaux 69

1.10 Observations de phénomènes vibratoires 69

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 70

2.1 Vue satellite 70

2.2 Vue aval du barrage 70

2.3 Vues de détails 71

2.4 Vues des environs 72

2.4.1 Amont 72

2.4.2 Aval 72

3. PLANS 73

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 74

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Erft est un cours d'eau non naturel, alimenté par le pompage des plans d'eau créés après l'exploitation de carrières.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du cours d'eau afin d'assurer un niveau de nappe phréatique constant pour les terres agricoles des alentours.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 5m3/s
- Q_{moyen} = 16m3/s
- $Q_{5\text{-}10}$ = 46,6m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 1994 sur un ancien seuil. Il est constitué de 2 passes de 8,10m de large et 1,6m de haut. Il est équipé d'une passerelle prenant appui sur une pile intermédiaire de 0,6m de large.

Les bajoyers des culées et piles sont verticaux ce qui a pour conséquence de créer un pli.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de hauteur. La hauteur à tenir est d'1,60m pour une régulation à ± 2cm. En cas de variations de la hauteur du plan d'eau, le système réagit par étapes :

- lorsque le plan d'eau atteint 1,62 ou 1,58m, le barrage se dégonfle ou se regonfle partiellement ;
- en cas de dépassement de la hauteur de 1,65m, le barrage se dégonfle totalement.

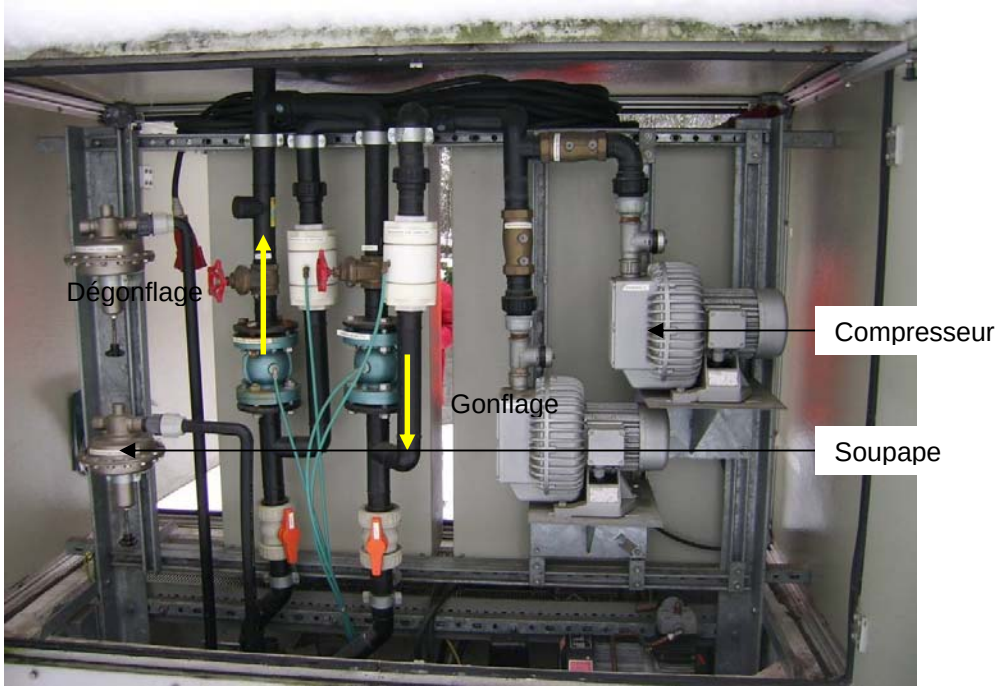
La prise de niveau se fait au moyen d'un puisard relié au plan d'eau amont par une conduite et muni d'une sonde de mesure.

La pression interne de fonctionnement du barrage est de 115 millibars.

1.4 Points technologiques particuliers

1.4.1 Gonflage

Le gonflage se fait à l'air au moyen de deux compresseurs, un par passe, situés dans un local en rive droite.



Une seule canalisation est nécessaire à chaque passe pour gonfler ou dégonfler la baudruche. Une soupape permet également l'évacuation d'air en cas de pression trop importante.

Le temps de gonflage et dégonflage est de l'ordre de 10 minutes.

1.4.2 Système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans les baudruches et leur système d'alimentation.

1.4.3 Système de sécurité

En cas de crue et de non-effacement du barrage en raison d'un souci avec l'automate par exemple, un système de flotteur entraine l'ouverture d'un évent et la vidange complète des baudruches.

Enfin des protections pour limiter l'accessibilité à la baudruche contre les actes de vandalisme ont été mises en place, suite à plusieurs incidents :

- Limitation de l'accès à la passerelle du barrage

- Limitation de l'accès à la baudruche par mise en place d'une grille au dessus des baudruches

1.5 Coût de l'ouvrage

La faiblesse du coût a favorisé le choix d'une solution de gonflage à l'air. En effet, les matériaux d'assise du barrage ne pouvaient supporter un trop lourd génie civil du fait de leur faible capacité de portance. Le gonflage à l'eau aurait engendré un génie civil plus important du fait d'une emprise plus conséquente et de charges plus importantes (poids de l'eau de remplissage).

1.6 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle. Selon le type d'alerte, elles peuvent être transmises par SMS à l'agent d'exploitation.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage qui possède 4 ouvrages dont celui de Selikum. Les 3 autres ouvrages sont constitués de clapets et posent des problèmes vis-à-vis des systèmes hydrauliques (entretien, pollution,…).

1.7 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Deux cas de vandalisme ont été rencontrés. Ils ont consisté en des coups de couteau perforant la baudruche. La baudruche avait alors été réparée sur place, nécessitant la mise à sec de l'ouvrage et donc la mise en place d'un batardeau.

Cet ouvrage fait également face à un fort dépôt de sédiments créant des pertes de charges au droit du puisard. Ceci peut engendrer une différence de niveau entre le niveau amont mesuré au sein du puisard et le niveau amont réel, c'est pourquoi la prise d'eau doit être nettoyée régulièrement au moyen d'une pompe.

1.8 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage. Celui-ci passe deux fois par semaine pour effectuer les purges et vidanger complètement chaque baudruche.

1.9 Aspects environnementaux

Une ancienne passe à poissons est présente en RG mais elle n'est pas fonctionnelle.

1.10 Observations de phénomènes vibratoires

Lors de la visite, les baudruches ont été partiellement dégonflées, ce qui a permis d'observer les phénomènes de V-notch.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vue aval du barrage

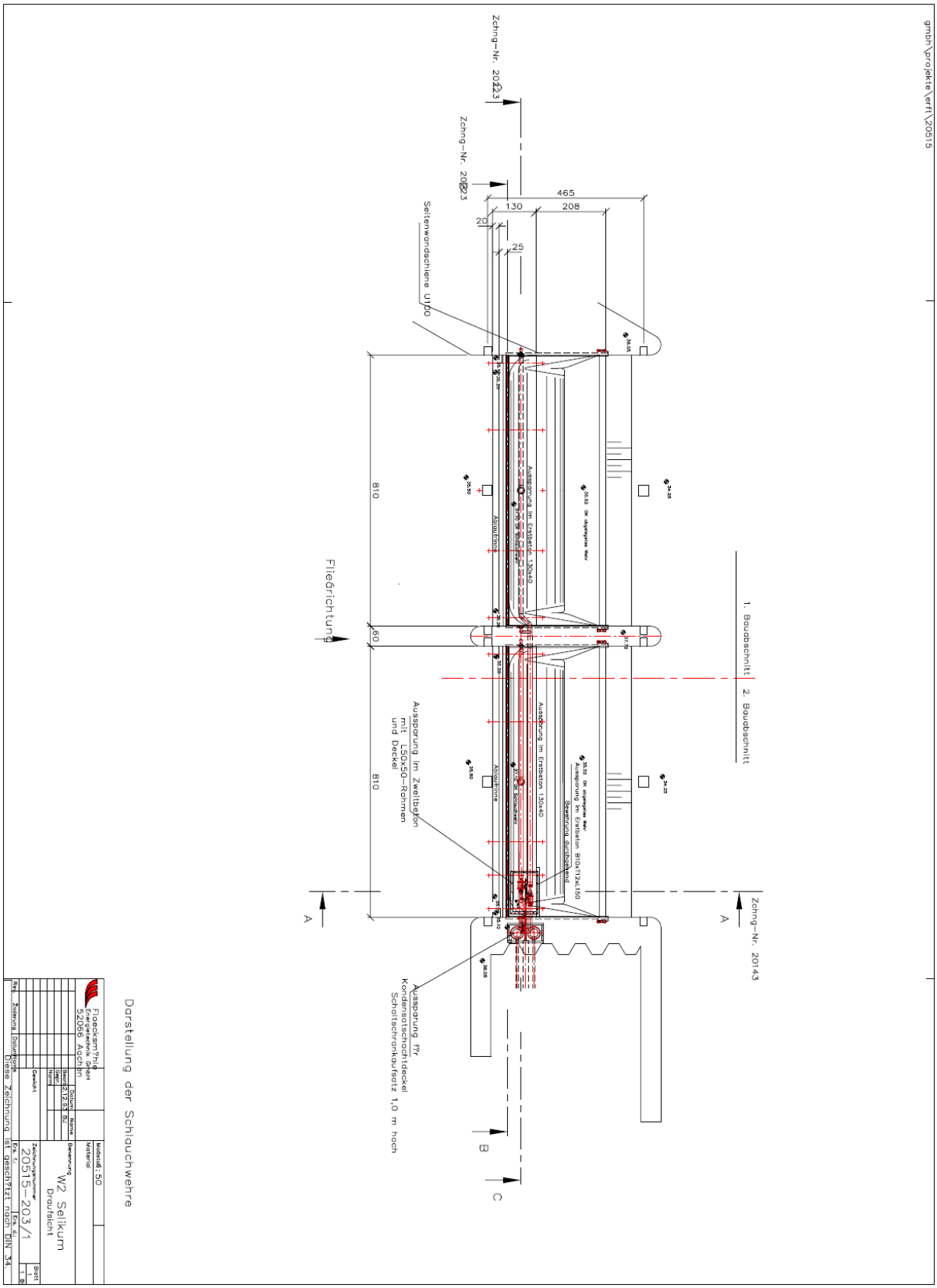
2.3 Vues de détails

2.4 Vues des environs

2.4.1 Amont

2.4.2 Aval

3. Plans


gmbh\projekte\erft\20515
1. Bauabschnitt
2. Bauabschnitt
Zchng-Nr. 20143
Zchng-Nr. 20223
Zchng-Nr. 20223
465
130
208
20
25
Seitenwandschiene U100
Ausspärung im Fertteil 130x40
Ausspärung im Fertteil 130x40
Ausspärung im Fertteil B100x112xL150
Bewehrung durchgehend
810
60
810
Fließrichtung
Ausspärung im Zweitbeton mit L50x50-Rohmen und Deckel
Ausspärung für Kondensatschachtdeckel Schaltschrankaufsatz 1,0 m hoch
A
A
B
C
Floeckemühle
Energietechnik GmbH
52066 Aachen
Maßstab: 1:50
Maßstäd: 50
Material
Benennung
W2 Selikum
Drauflicht
Zeichnungsnummer
20515-203/1
Blatt
Gezeichnet
Geprüft
Norm
Gewicht
Rev.
Änderung
Datum
Name
Diese Zeichnung ist geschützt nach DIN 34.
Darstellung der Schlauchwehre

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Selikum
Localisation	Selikum (Rhénanie du Nord-Westphalie, Allemagne)
Date de la visite	21/12/2010
Maître d'Ouvrage	Erftverband (société de gestion des eaux)
Procédé	Gonflage à l'air
Largeur utile	16,2m
Hauteur utile	1,6m
Hauteur de chute	Variable selon niveau aval
Nombre de passes	2
Cours d'eau	Erft River
Débits caractéristiques	
i. Etiage	5m3/s
ii. Moyen	16m3/s
iii. Maximum	Qmax=46,6m3/s
But de l'ouvrage	Maintien du niveau de nappes phréatiques
Année de réalisation	1997
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction sur ancien seuil
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui mais elle n'est actuellement plus fonctionnelle
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Oui, une passerelle privée (portail)
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert, restreint à la solution barrage gonflable
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	De base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Floeksmühle
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	Deux offres reçues
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Eté 1996
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Travaux réalisés en 6 mois.
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Rideau de palplanches
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales

Questions	Réponses
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Printemps 1997
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	Pas de retard
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Aucune
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Entièrement
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Par le fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	3 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	800k€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	40k€ (baudruches uniquement)
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau?	Consigne de maintien du plan d'eau à 1,60m. Une variation de plus de 2cm du niveau d'eau engendre un gonflage ou dégonflage partiel. Une augmentation de plus de 5cm du niveau d'eau engendre le dégonflage total du barrage
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Régulation à +/- 2cm sur une petite gamme de débit
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Réservations pour rainures à batardeau présentes dans le GC, éléments non présents sur site
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévu
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Deux cas de vandalisme sur la membrane par coups de couteau
	Obstruction par des sédiments du capteur de niveau amont
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, le compresseur a compensé les pertes d'air suite aux vandalismes
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	2x/semaine : les canalisations sont purgées des eaux de condensation, chaque passe est dégonflée, puis gonflée complètement
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Oui. Ces comptes-rendus sont conservés par le fournisseur (Floeksmühle)
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Pas de maintenance de systèmes hydrauliques Pas de pollution par rejet de lubrifiant
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Baudruche à durée de vie limitée (20 ans) du fait de la faible épaisseur de la membrane (6mm) ➔ choix économique

Questions	Réponses
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Opérations de maintenance hebdomadaires et annuelles réalisées par le fournisseur Une révision générale des deux membranes a été faite en 2010 (batardage + inspection détaillé)
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	1500 euros par an
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	100 heures par an
iii. Renouvellement	-

Fiche d'ouvrage n°3 : Barrage de Bannetze

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 78

1.1 Description du cours d'eau 78

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 78

1.3 Détail de son fonctionnement 79

1.4 Points technologiques particuliers 80

1.4.1 Gonflage 80

1.4.2 Local d'exploitation 81

1.4.3 Système de purge 81

1.4.4 Déflecteurs 82

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 82

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 82

1.7 Maintenance 82

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 83

2.1 Vue satellite 83

2.2 Vues du barrage 83

2.3 Vues de détail 85

2.3.1 Passerelle 85

2.3.2 Pile intermédiaire 86

2.3.3 Maquette de présentation du barrage 86

2.4 Vues des environs 87

2.4.1 Amont 87

2.4.2 Aval 87

3. PLANS 88

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 89

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Allee est un cours d'eau navigable régulé par 4 barrages, dont les barrages de Marklendorf et Bannetze.

Le but du barrage est de maintenir le niveau amont pour permettre la navigation que ce soit en période d'étiage ou en période de crue.

Le barrage de Bannetze a été historiquement implanté au droit d'une courbe du cours d'eau. Un bras artificiel a été réalisé afin d'implanter une écluse et d'assurer le passage de la navigation.

Les débits caractéristiques du cours d'eau sont les suivants :

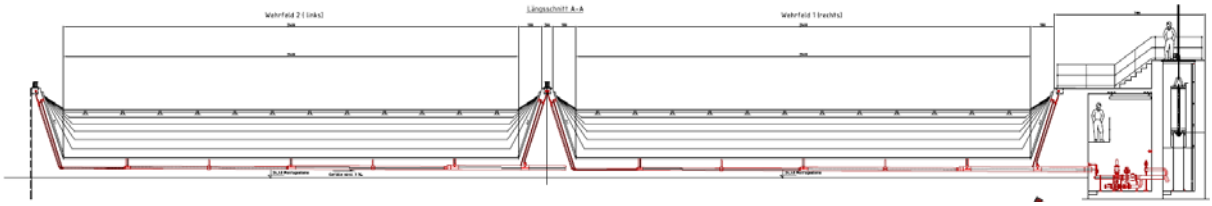
- $Q_{étiage}$ = 3,7m3/s
- Q_{moyen} = 43m3/s
- Q_{100} = 400m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 2009 à l'aval immédiat d'un ancien barrage mixte, équipé en partie d'aiguilles et de vannes wagon.

Il est constitué de 2 passes de 21m de large et 2,35m de haut. Il est équipé d'une passerelle publique prenant appui sur une pile intermédiaire de 0,5m de large environ en tête. La passerelle a été volontairement positionnée en amont du barrage pour limiter l'accessibilité (vandalisme) aux baudruches.

Les bajoyers des baudruches sont inclinés avec une pente de 1/3, ce qui engendre une largeur de pile de 2,7m au droit du radier.



Ci-dessus, le profil en long du barrage (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

1.3 Détail de son fonctionnement

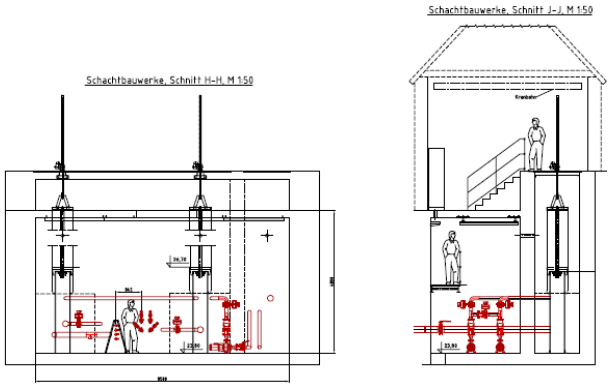
Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau. Les baudruches sont plus ou moins gonflées en fonction du débit à transiter. Lors de notre venue, la consigne du plan d'eau était de 29,35m pour des baudruches gonflées à 28,13m et 28,4m et un seuil à 27,0m.

Le niveau amont mesuré pour chacune des baudruches était de 29,36m et 29,34m, le niveau aval était de 28,78m.

1.4 Points technologiques particuliers

1.4.1 Gonflage

Le remplissage se fait au moyen d'un système conçu par la société Floecksmühle. Ce système consiste en une colonne d'eau dont la hauteur peut varier. Cette colonne, communiquant avec la baudruche au moyen de conduites, est alimentée par une prise d'eau en retenue amont dont les eaux sont relevées au moyen d'un pompage. Ainsi un équilibre se fait entre la colonne d'eau et la baudruche.



Ci-dessus, le schéma du système de remplissage (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

En cas de gonflage, la colonne d'eau remonte et se remplit par les eaux de pompage. En cas de dégonflage, la colonne d'eau descend et l'eau est évacuée par débordement.

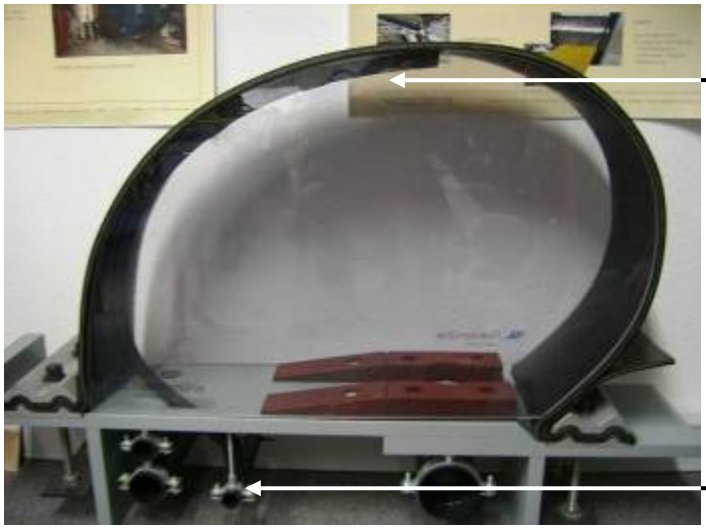
La hauteur d'eau de fonctionnement du barrage est de 1,6 fois la hauteur du barrage, soit 3,75m environ. Le temps de gonflage est de l'ordre de 3h, celui du dégonflage est de 2h pour chaque passe, 4h pour l'ensemble du barrage.

1.4.2 Local d'exploitation

Le local a constitué un souhait du Maître d'Ouvrage et non une contrainte imposée par le fournisseur.

1.4.3 Système de purge

Un système de purge permet de vidanger l'air emprisonné dans la baudruche. Cet air peut poser des soucis pour la régulation et peut être responsable de phénomènes vibratoires de surface puisqu'il va se loger en partie supérieure, en contact immédiat avec la lame déversante. Le système de purge consiste à pomper ce volume d'air au moyen de conduites présentes au sein de la baudruche.



1.4.4 Déflecteurs

Les baudruches sont équipées de déflecteurs afin de limiter les phénomènes vibratoires.

Ceci permet de pouvoir dégonfler partiellement le barrage pour la gestion des montées de plans d'eau tout en limitant les phénomènes vibratoires, comme c'était le cas lors de notre visite.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle. Selon le type d'alerte, elles peuvent être transmises par SMS à l'agent d'exploitation.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage qui possède 4 ouvrages dont celui de Marklendorf et Bannetze. Les 2 autres ouvrages sont constitués de clapets et posent des problèmes vis-à-vis des systèmes hydrauliques (entretien, pollution,…).

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

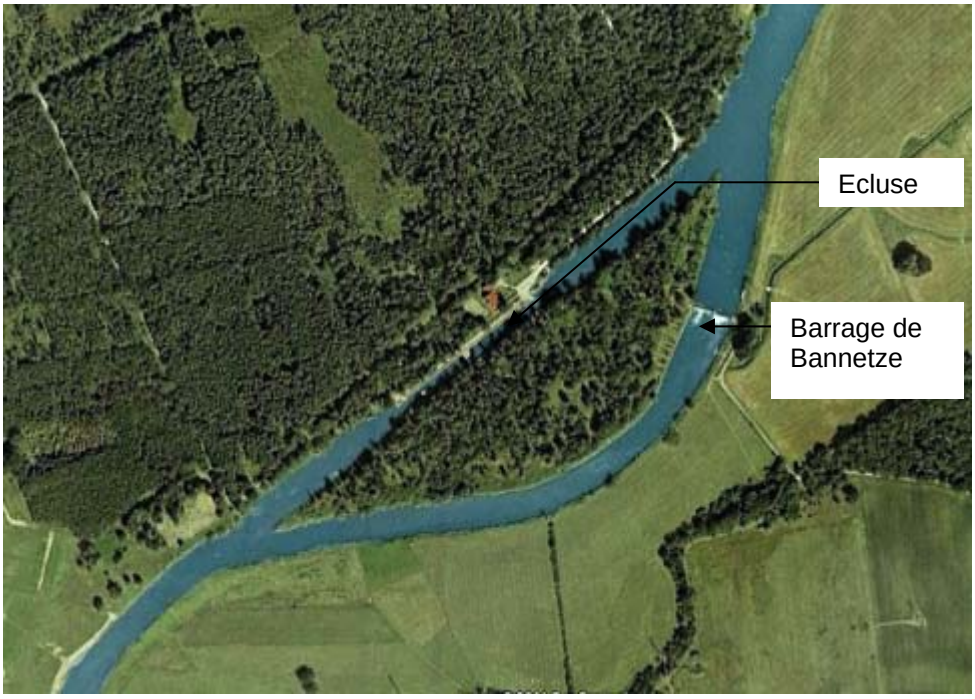
Aucun problème sérieux n'est mentionné par le Maître d'Ouvrage / Exploitant.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et de la maintenance du barrage. Celui-ci passe chaque jour pour effectuer les purges et relever les messages d'alerte non préjudiciables pour le fonctionnement de l'ouvrage, et donc non transmis directement.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite



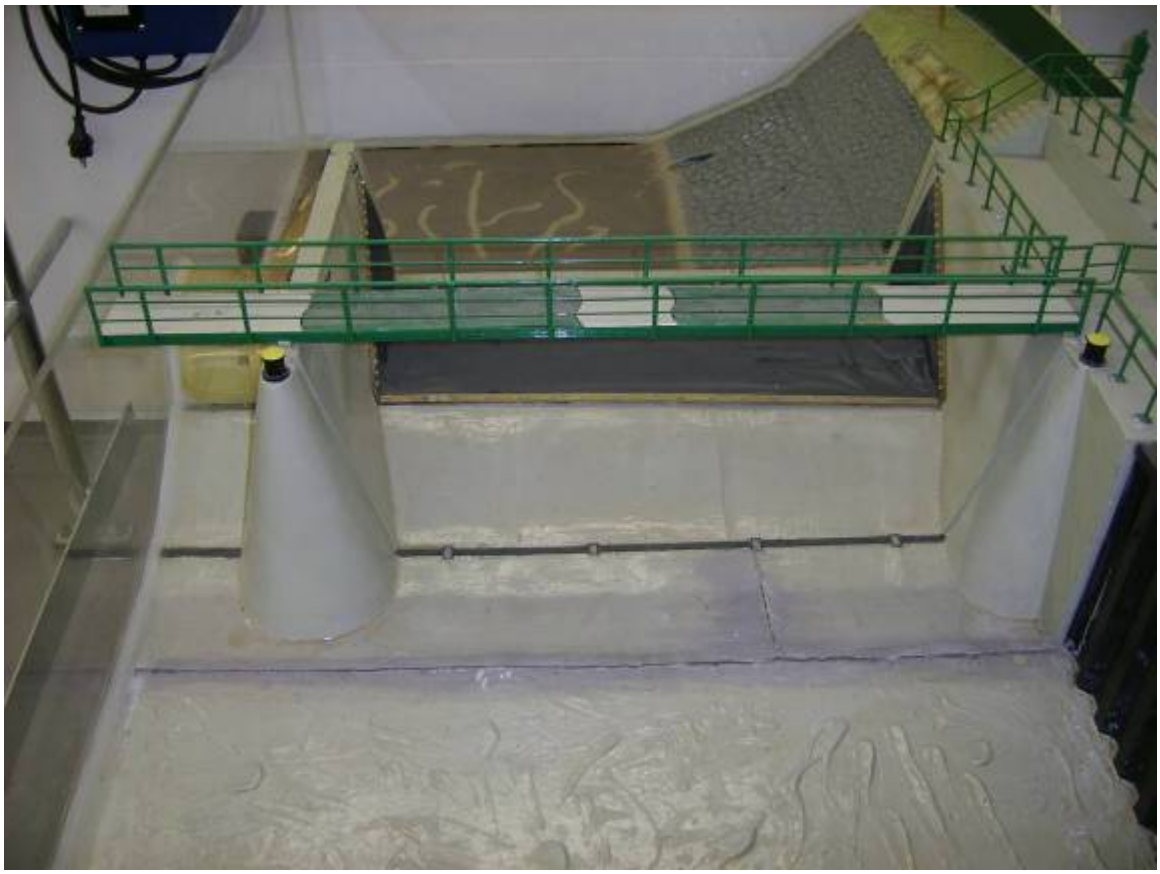
2.2 Vues du barrage

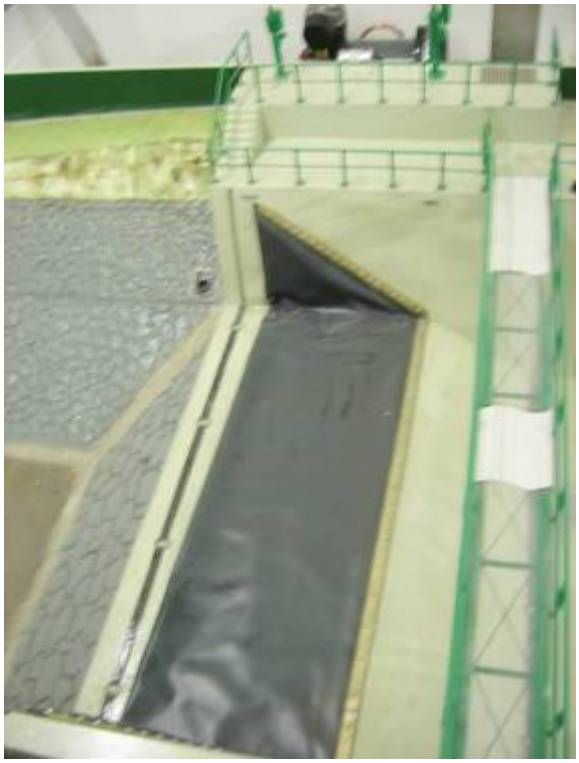
2.3 Vues de détail

2.3.1 Passerelle

2.3.2 Pile intermédiaire

2.3.3 Maquette de présentation du barrage



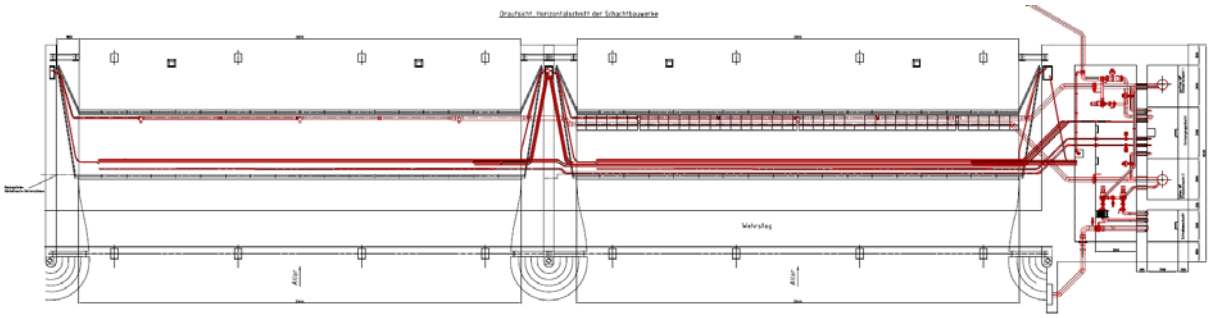


2.4 Vues des environs

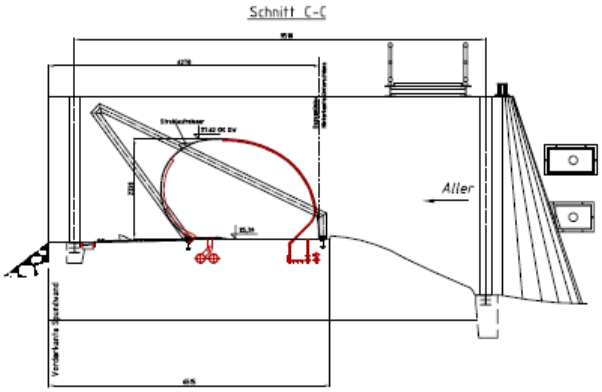
2.4.1 Amont

2.4.2 Aval

3. Plans



Ci-dessus, la vue en plan du barrage (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.



Ci-dessus, le profil en travers du barrage (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Bannetze
Localisation	Bannetze (Basse-Saxe, Allemagne)
Date de la visite	22/12/2010
Maître d'Ouvrage	WSV (Wasser Schifffahrt Verwaltung)
Procédé	Gonflage à l'eau
Largeur utile	42m
Hauteur utile	2,35m
Hauteur de chute	Variable selon niveau aval
Nombre de passes	2
Cours d'eau	Allee River
Débits caractéristiques	
i. Etiage	3,7m3/s
ii. Moyen	43m3/s
iii. Maximum	400m3/s
But de l'ouvrage	Régulation pour navigation plaisance
Année de réalisation	2009
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf ?	Reconstruction en aval de l'ancien barrage (barrage mixte vannes wagon – aiguilles)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non - rivière de contournement
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Oui - passerelle ouverte au public
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique (pour le moment)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base du client après étude préliminaire (comparaison avec solution clapet) ->choix économique
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Le marché a été confié à un mandataire qui a employé plusieurs sous-traitants dont un pour la partie « bouchure »
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, Floecksmühle
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	7
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non, mais les références en barrages gonflables oui.

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Mai 2007
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation passe par passe, interruption programmée du chantier entre octobre et mars
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Enceinte de palplanches
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Oui, problème avec la fondation du barrage existant + période hydraulique défavorable plus longue que prévue
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Aout 2009
Quelle était la date de mise en service prévue?	Octobre 2008
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non, aux conditions de site
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Les matériaux étaient décrits dans le marché avec recommandations sur les propriétés physiques requises
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Contrôle des propriétés physiques
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Les ouvrages sont garantis par l'Entreprise contractant le marché. Le fournisseur garantit la membrane et son système de gonflage à l'Entreprise.
ii. Pour quelle durée ?	2 ans pour l'ensemble de la bouchure (extension à 5 ans pour la baudruche)
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	2,3 millions d'euros
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	0,85 millions d'euros
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une consigne de niveau amont
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 2cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Pieux H insérés dans des réservations présentes dans le radier + madriers de bois
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Pas possible. Le batardeau ne peut être mis en place qu'en cas de non-surverse (étiage)
L'ouvrage dispose-t-il d'une bouchure de maintenance et/ou de secours?	Non
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui, mais sans gravité
Si oui, lesquels	- Ajustement des capteurs de mesures et du système pour la période « humide » après une mise en service en période d'étiage - Dégât sur l'un des capteurs
Ceux-ci concernent : le système de bouchure / le contrôle commande / l'énergie	Contrôle/commande
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Non, commande auprès du fournisseur et installation par l'électricien de la WSV

Questions	Réponses
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Aucun enlèvement, les embâcles passent sur le barrage
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- 1x/jour : purge de l'air emprisonné dans la baudruche - 1x/an : inspection visuelle avec un ingénieur - 1x/6ans : batardage, vidange de la baudruche et inspection détaillée
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Oui
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	- Construction simple - Pas de problème de corrosion - Pas de pièce mobile - Faibles coûts de maintenance/exploitation attendus
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Vulnérabilité des baudruches (même si aucun incident n'est survenu pour le moment)
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Remplacement d'un capteur endommagé
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	(hors coût énergétique)
i. Entretien courant – exploitation	1% du coût des équipements techniques
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	500 à 1000 heures/an
iii. Renouvellement	2 à 3% du coût des équipements techniques

Fiche d'ouvrage n°4 : Barrage de Marklendorf

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 94

1.1 Description du cours d'eau 94

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 94

1.3 Détail de son fonctionnement 95

1.4 Points technologiques importants 96

1.4.1 Le gonflage 96

1.4.2 Local 97

1.4.3 Le système de purge 98

1.4.4 Déflecteurs 99

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 99

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 100

1.7 Maintenance 100

1.8 Aspects environnementaux 100

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 101

2.1 Vue satellite 101

2.2 Vues du barrage 101

2.3 Vues de détail 103

2.3.1 Passerelle 103

2.3.2 Pile intermédiaire 104

2.4 Vues des environs 104

2.4.1 Aval 104

3. PLANS 105

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 106

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Allee est un cours d'eau navigable régulé par 4 barrages, dont les barrages de Marklendorf et Bannetze.

Le but du barrage est de maintenir le niveau amont pour permettre la navigation que ce soit en période d'étiage ou en période de crue.

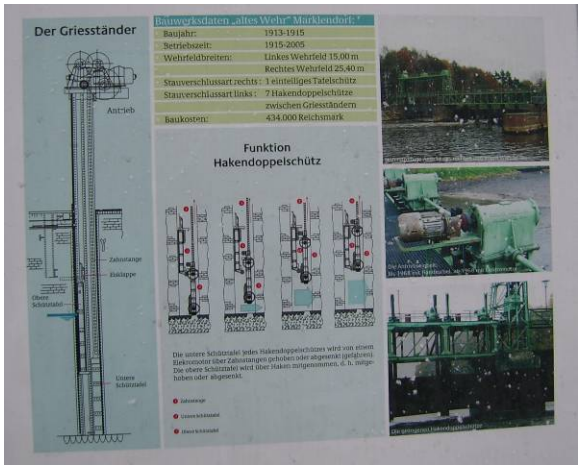
Le barrage de Marklendorf a été implanté au droit d'une courbe du cours d'eau. Un bras artificiel a donc été réalisé afin d'implanter une écluse et d'assurer le passage de la navigation.

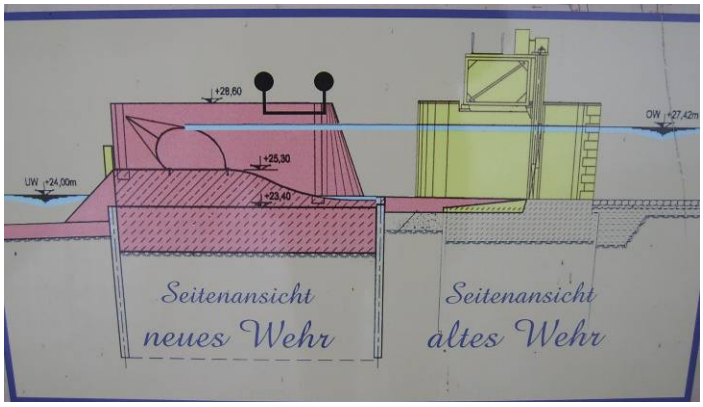
Les débits caractéristiques du cours d'eau sont les suivants :

- Qétiage = 3,7m3/s
- Qmoyen = 43m3/s
- Qmax = 400m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

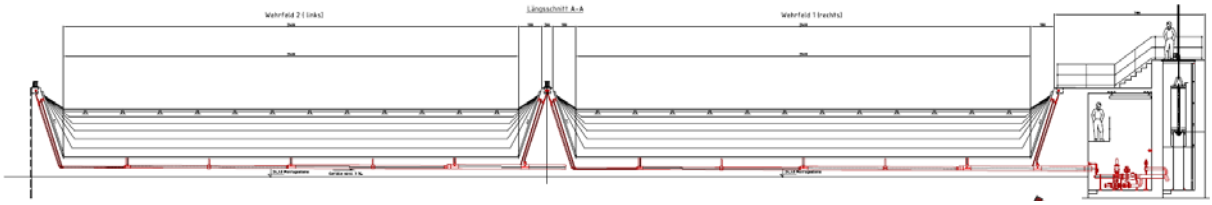
Le barrage a été construit en 2006 à l'aval immédiat d'un ancien barrage équipé de vannes wagon.





Il est constitué de 2 passes de 21,4m de large et 2,32m de haut. Il est équipé d'une passerelle prenant appui sur une pile intermédiaire de 0,5m de large environ en tête. La passerelle a été volontairement positionnée en amont du barrage pour limiter l'accessibilité aux baudruches (vandalisme).

Les bajoyers des baudruches sont inclinés avec une pente de 1/3, ce qui engendre une largeur de pile de 2,7m au droit du radier.



Ci-dessus, le profil en long (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau. Les baudruches sont plus ou moins gonflées en fonction du débit à transiter. Lors de notre venue, la consigne du plan d'eau était de 27,52m pour des baudruches gonflées à 27,20m et un seuil à 25,3m. Les deux baudruches fonctionnent ensemble, mais leur gestion peut être séparée.

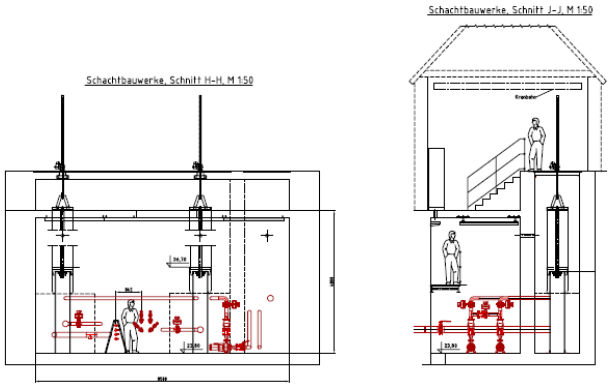
Une centrale hydroélectrique est présente en Rive Gauche.

La gestion de cette centrale est dépendante de celle du barrage. La régulation s'effectue donc en priorité par le barrage, qui définit à la centrale le débit qu'elle peut turbiner. Cet ouvrage diffère en ce sens d'autres barrages tels que celui de Kiebingen. Sa fonction principale est la régulation du plan d'eau et la production de la centrale est en conséquence contingente.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le remplissage se fait au moyen d'un système breveté par la société Floecksmühle. Ce système consiste en une colonne d'eau dont la hauteur peut varier. Cette colonne, communiquant avec la baudruche au moyen de canalisations, est alimentée par une prise d'eau en retenue amont dont les eaux sont relevées au moyen d'un pompage. Ainsi, un équilibre se fait entre la colonne d'eau et la baudruche.



Ci-dessus, le système de remplissage (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

En cas de gonflage, la colonne d'eau remonte et se remplit par les eaux de pompage. En cas de dégonflage, la colonne d'eau descend et l'eau est évacuée par débordement.

La hauteur d'eau de fonctionnement du barrage est de 1,6 fois la hauteur du barrage, soit 3,75m.

Le temps de gonflage est de l'ordre de 3h, celui du dégonflage est de 2h pour chaque passe, 4h pour l'ensemble du barrage.

1.4.2 Local

Le local constitue un souhait du Maître d'Ouvrage et non une contrainte imposée par le fournisseur.

Canalisation d'amenée des eaux de remplissage

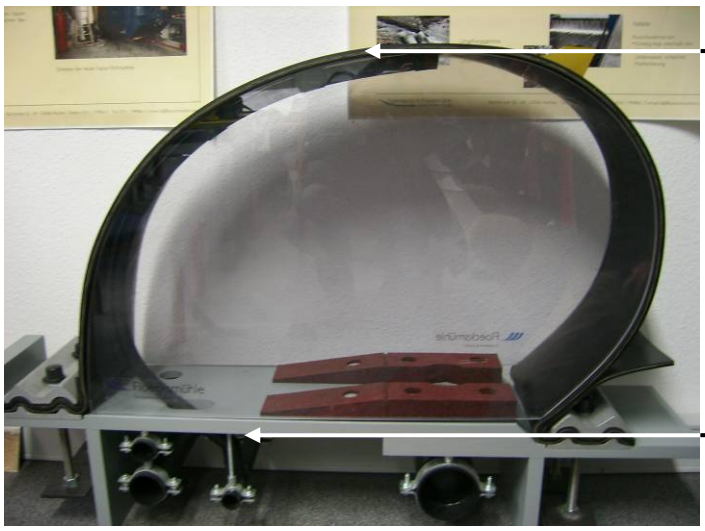
Pompe + canalisation d'alimentation de la colonne de régulation

Canalisation d'alimentation de la baudruche

By-pass de sécurité avec la seconde baudruche

1.4.3 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger l'air emprisonné dans la baudruche. Cet air peut poser des soucis pour la régulation et peut être responsable de phénomènes vibratoires de surface puisqu'il va se loger en partie supérieure de la baudruche, en contact immédiat avec la lame déversante. Le système de purge consiste à pomper ce volume d'air au moyen de conduites présentes au sein de la baudruche.



Prise de la purge positionnée en partie supérieure de la baudruche

Conduite de purge de l'air

1.4.4 Déflecteurs

Les baudruches sont équipées de déflecteurs afin de limiter les phénomènes vibratoires.

Ceci permet de pouvoir dégonfler partiellement le barrage pour la gestion des montées de plans d'eau tout en limitant les phénomènes vibratoires, comme c'était le cas lors de notre visite.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle. Selon le type d'alerte, elles peuvent être transmises par SMS à l'agent d'exploitation.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage qui possède 4 ouvrages dont celui de Marklendorf et Bannetze. Les 2 autres ouvrages sont constitués de clapets et posent des problèmes vis-à-vis des systèmes hydrauliques (entretien, pollution,…).

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Des problèmes de vibration sont apparus les premières années. La baudruche se mettait à « balloter » sous une certaine hauteur de surverse et avec une hauteur d'eau aval importante.

Le barrage a donc été équipé en 2008 de déflecteurs. Depuis, les vibrations ne sont plus apparues.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage. Celui-ci passe chaque jour pour effectuer les purges et relever les messages d'alerte non préjudiciables pour le fonctionnement de l'ouvrage, et donc non transmis directement à l'exploitant.

1.8 Aspects environnementaux

Une passe à poissons est présente en RG.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

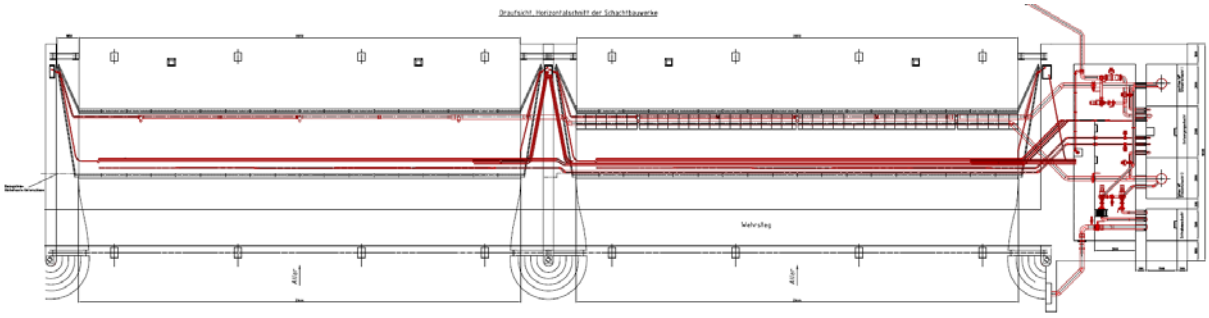
2.3.1 Passerelle

2.3.2 Pile intermédiaire

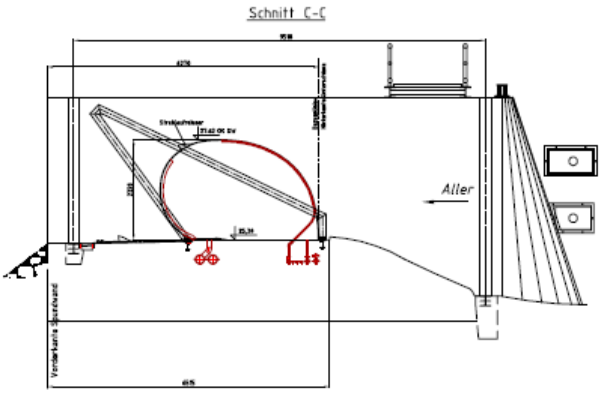
2.4 Vues des environs

2.4.1 Aval

3. Plans



Ci-dessus, la vue en plan (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.



Ci-dessus, le profil en travers (plans Floecksmühle ©).Ces extraits de plans sont la propriété de la société Floechsmühle et ne pourront en aucun cas être utilisés à d'autres fins que pour le présent rapport.

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Marklendorf
Localisation	Marklendorf (Basse-Saxe, Allemagne)
Date de la visite	22/12/2010
Maître d'Ouvrage	WSV (Wasser Schifffahrt Verwaltung)
Procédé	Gonflage à l'eau
Largeur utile	42,8m
Hauteur utile	2,32m
Hauteur de chute	Var. selon niveau aval
Nombre de passes	2
Cours d'eau	Allee River
Débits caractéristiques	
i. Etiage	3,7m3/s
ii. Moyen	43m3/s
iii. Maximum	Qmax = 400m3/s
But de l'ouvrage	Régulation pour navigation plaisance
Année de réalisation	2006
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction en aval de l'ancien barrage (barrage vannes wagon)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui, en rive gauche
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Oui - passerelle ouverte au public
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique privée en rive gauche, dépendant des débits gérés par le barrage (3 x 12 m3/s pour Pmax=600kW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base du client après étude préliminaire (comparaison avec solution clapet) ->choix économique
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Le marché a été confié à un mandataire qui a employé plusieurs sous-traitant dont un pour la membrane
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, Floecksmühle
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	7
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non, mais les références en barrages gonflables oui

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Mai 2005
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation passe par passe, interruption programmée du chantier entre octobre et mars
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Enceinte de palplanches
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Octobre 2006
Quelle était la date de mise en service prévue?	Octobre 2006
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Les matériaux étaient décrits dans le marché avec recommandations sur les propriétés physiques requises
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Contrôle des propriétés physiques
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Les ouvrages sont garantis par l'Entreprise contractant le marché. Le fournisseur garantit la membrane et son système de gonflages à l'Entreprise.
ii. Pour quelle durée ?	2 ans pour l'ensemble de la bouchure (extension à 5 ans pour la baudruche)
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	4,8 millions d'euros (passe à poissons incluse)
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	0,65 millions d'euros
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une consigne de niveau amont
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 2cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Pieux H insérés dans des réservations présentes dans le radier + madriers de bois
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Pas possible. Le batardeau ne peut être mis en place qu'en cas de non-surverse (étiage)
L'ouvrage dispose-t-il d'une bouchure de maintenance et/ou de secours?	Non
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui, mais sans gravité
Si oui, lesquels	problèmes vibratoires résolus par la mise en place de déflecteurs Problèmes d'étanchéité au droit des traversées de tuyaux dans les parois béton du local
Ceux-ci concernent : le système de bouchure / le contrôle commande / l'énergie	Voir ci-dessus
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui, pour le remplacement de la membrane et pour la pose des joints d'étanchéité
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non

Questions	Réponses
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Aucun enlèvement, les embâcles passent sur le barrage
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- 1x/jour : purge de l'air emprisonné dans la baudruche - 1x/an : inspection visuelle avec un ingénieur - 1x/6ans (première effectué en 2010, sans résultat) : batardage, vidange de la baudruche et inspection détaillée
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	- construction simple - pas de problème de corrosion - pas de pièce mobile - faibles coûts de maintenance/exploitation attendus
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Vulnérabilité des baudruches (même si aucun incident n'est survenu pour le moment)
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Ont dû être remplacées les pièces suivantes -sonde mesurant la hauteur de la baudruche -compresseur
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	(hors coût énergétique)
i. Entretien courant – exploitation	1% du coût des équipements techniques
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	500 à 1000 heures/an
iii. Renouvellement	2 à 3% du coût des équipements techniques

Fiche d'ouvrage n°5 : Barrage de Lechbruck

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 110

1.1 Description du cours d'eau 110

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 110

1.3 Détail de son fonctionnement 112

1.4 Points technologiques importants 112

1.4.1 Le gonflage 112

1.4.2 Local 113

1.4.3 Le système de purge 114

1.4.4 Déflecteurs 114

1.4.5 Sécurité 115

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 116

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 116

1.7 Maintenance 117

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 118

2.1 Vue satellite 118

2.2 Vues du barrage 119

2.3 Vues de détail 121

2.3.1 Baudruche 121

2.3.2 Colonne de pompage 122

2.3.3 Colonne de remplissage 122

2.3.4 Colonne de régulation 123

2.3.5 Colonne de vidange 123

2.4 Vues des environs 124

2.4.1 Amont 124

2.4.2 Aval 124

2.4.3 Chenal 125

2.5 Centrale hydroélectrique 125

3. PLANS 127

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 129

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Lech est un cours d'eau régulé par de nombreux barrages associés le plus souvent à une centrale hydroélectrique.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique de Lechbruck située plus en aval, et ce de manière optimale.

Le barrage de Lechbruck a été implanté latéralement au cours d'eau. Le bief à l'aval du barrage rejoint celui de la centrale.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 10m3/s
- Q_{moyen} = 50m3/s
- $Q_{crue2005}$ = 930m3/s
- Q_{1000} = 1200m3/s
- Lors de la crue de 2005, la passe de 3,35m de haut et 2 passes de 1,25m de haut étaient effacées, la 3e passe de 1,25m de haut était dégonflée à 50%.

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 2002 à l'aval immédiat d'un ancien barrage équipé de hausses en bois.

Il est constitué d'une passe A de 27m de long et 3,35m de haut et de trois passes B, C, D de 47m de long et 1,25m de haut (voir chapitre 3 « plans »).

Les bajoyers des baudruches sont inclinés avec une pente de 1/3.

Le radier n'est pas calé au même niveau pour les passes B, C, D et pour la passe A (voir chapitre 3 « plans »), notamment pour permettre la chasse des sédiments. De plus, ils présentent une chute avec le niveau du lit aval.

Enfin, le barrage est manœuvré au moyen d'un local commande en rive gauche.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau.

Pour les débits inférieurs à 150m3/s, c'est la centrale hydroélectrique qui régule le cours d'eau. En cas de débit plus important, les baudruches prennent le relais. La régulation s'effectue par les passes B et C jusqu'à leur abaissement complet, puis par la passe A et enfin par la D.

La régulation peut également s'effectuer de manière homogène sur l'ensemble des passes.

La précision de régulation annoncée par le fournisseur est de +/- 2cm. Cette précision n'a pas pu être vérifiée lors de notre visite. En effet, lors de notre venue, le plan d'eau était uniquement régulé par la centrale[1]. Les consignes étaient de 730,17m pour la centrale et 730,29 pour le barrage. Le niveau mesuré était de 730,17m au droit de la centrale. Concernant le barrage, deux sondes sont présentes sur chaque rive. La configuration du barrage et du chenal d'amenée des eaux à la centrale engendre une différence entre les mesures de l'ordre de 7cm. La régulation s'effectue sur la moyenne des deux, le niveau annoncé était donc de 730,28m pour un barrage gonflé totalement, sans surverse.

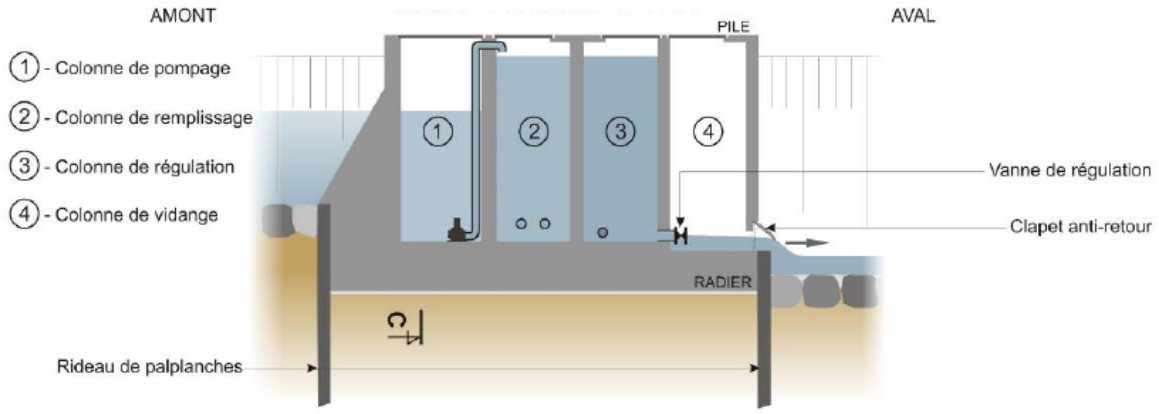
1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le remplissage se fait au moyen de plusieurs colonnes d'eau. Une colonne est reliée au plan d'eau amont et amène les eaux par pompage aux trois colonnes de remplissage, une pour la baudruche A, une pour les baudruches B et C, et une pour la baudruche D. De la même manière, 3 colonnes permettent la régulation. Enfin ces 3 colonnes communiquent avec une dernière colonne permettant la vidange.

[1] Un dégonflage partiel a été réalisé lors de notre visite pour démonstration, d'où la présence de photos montrant le barrage surverser

Le schéma ci-dessous décrit le principe de fonctionnement des colonnes de régulation (il ne correspond pas spécifiquement au cas du barrage).



L'eau alimente la baudruche depuis la colonne de remplissage. Le dégonflage de la baudruche est géré par la colonne de régulation. En fixant le niveau de la colonne de régulation, une pression équivalente à la hauteur de cette colonne d'eau est imposée à la baudruche.

Lorsque le débit du cours d'eau est inférieur au débit d'eau turbiné par la centrale, la régulation se fait avec la centrale hydroélectrique. Lorsque ce débit est dépassé, le bief amont va monter, ce qui va entrainer la montée du niveau d'eau dans le réservoir de pompage. Le réservoir de régulation va alors être vidé, ce qui entraine un abaissement de la baudruche. Il y a alors surverse et baisse du bief amont, jusqu'au niveau de régulation.

La hauteur d'eau de fonctionnement du barrage est de 1,6 fois la hauteur du barrage, soit 5,3m pour la baudruche A et 2m pour les baudruches B, C et D.

Le temps de gonflage est de 3 heures, celui du dégonflage de 40 minutes.

1.4.2 Local

Le local se situe en rive gauche et permet l'accès aux colonnes de régulation et de vidange.

1.4.3 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger l'air emprisonné dans la baudruche. Cet air peut poser des soucis pour la régulation et peut être responsable de phénomènes vibratoires puisqu'il va se loger en partie supérieure de la baudruche, en contact immédiat avec la lame déversante. Le système de purge consiste en un bouchon situé en partie haute de la baudruche, à savoir dans le pli que forme la baudruche au droit du bajoyer. L'exploitant l'ouvre périodiquement.

1.4.4 Déflecteurs

Les baudruches sont équipées de déflecteurs afin de limiter les phénomènes vibratoires.

Ceci permet de pouvoir dégonfler partiellement le barrage pour la gestion des montées de plans d'eau tout en limitant les phénomènes vibratoires.

1.4.5 Sécurité

Un système de sécurité permet de vidanger les colonnes de régulation en cas de fonctionnement bloqué des pompes de relevage des eaux.

Surverse de la colonne de régulation dans la colonne de vidange

Un autre système de sécurité permet quant à lui de dégonfler la baudruche en cas d'atteinte d'une hauteur d'eau amont supérieure à 30 cm du niveau de régulation, sans réaction de la baudruche. Ce système consiste en un système de bascule dont le poids peut se remplir d'eau au moyen d'une conduite en contact avec le plan d'eau amont, entrainant l'ouverture de la vanne de vidange.

Enfin, lors des forts épisodes de gel, certaines mesures doivent être prises pour éviter que l'eau dans la baudruche et dans les colonnes de régulation ne gèle. Pour les baudruches de ce barrage, dont les largeurs sont relativement faibles, renouveler l'eau est suffisant. L'étalonnage du débit de recirculation est fait lors du premier hiver de l'ouvrage. Les colonnes de régulation doivent être chauffées à 5°C (température de l'air) afin d'éviter tout problème lié au gel. Le coût de cette surconsommation d'énergie reste limité : la facture énergétique s'élève en moyenne à 1200kWh par an, cette facture comprenant les dispositions dues au risque de gel et le fonctionnement normal de l'ouvrage.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) et l'ensemble des données (hauteurs des baudruches,…) sont transmises au local de télégestion situé dans la centrale hydroélectrique. L'agent d'exploitation est donc au courant en permanence de ces informations. De plus, cet ouvrage fait partie d'une télégestion groupée. Les informations sont donc également transmises au centre de télégestion pour les astreintes.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction de l'exploitant.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Lors de la livraison de la membrane, de petits défauts et une perforation entrainée par un incident ont été localement renforcé par des « rustines », mises en place par vulcanisation froid.

Suite à la crue de 2005, l'ancrage aval, situé à l'intérieur de la baudruche, s'est désolidarisé très probablement du fait d'un choc avec un enrochement. Ce dislocation engendrait de petites fuites, la baudruche a donc été mise à sec pour pouvoir intervenir sur l'ancrage en entrant à l'intérieur de la membrane.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage. Celui-ci passe chaque semaine pour effectuer une inspection de contrôle. De plus, un certain nombre d'opérations de maintenance sont réalisées, comme récapitulé dans le tableau ci-dessous :

Description de l'action	Fréquence					
	Hebd.	Mensuel	Semest.	Annuel	T° < -10°C	Autres
Etat du bâti, fuites	C					
Etat extérieur de la baudruche	C					
Evacuation embâcles	C,E					
Evacuation embâcles entre la baudruche et le radier	C,E					
Etat du béton sous la baudruche	C	E				
Système de vidange		C	E		C	
Envasement des colonnes de régulation		C	E			
Gel des colonnes de régulation lorsque T < 0°C	C,E					
Nettoyage des conduites après crue						5ans, E
Fonctionnement des pompes		C	E			
Fonctionnement des vannes		C	E			
Fonctionnement des vannes de vidange			C			

Avec :
C : Contrôle
E : Entretien

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

2.3.1 Baudruche

2.3.2 Colonne de pompage

2.3.3 Colonne de remplissage

2.3.4 Colonne de régulation

2.3.5 Colonne de vidange

2.4 Vues des environs

2.4.1 Amont

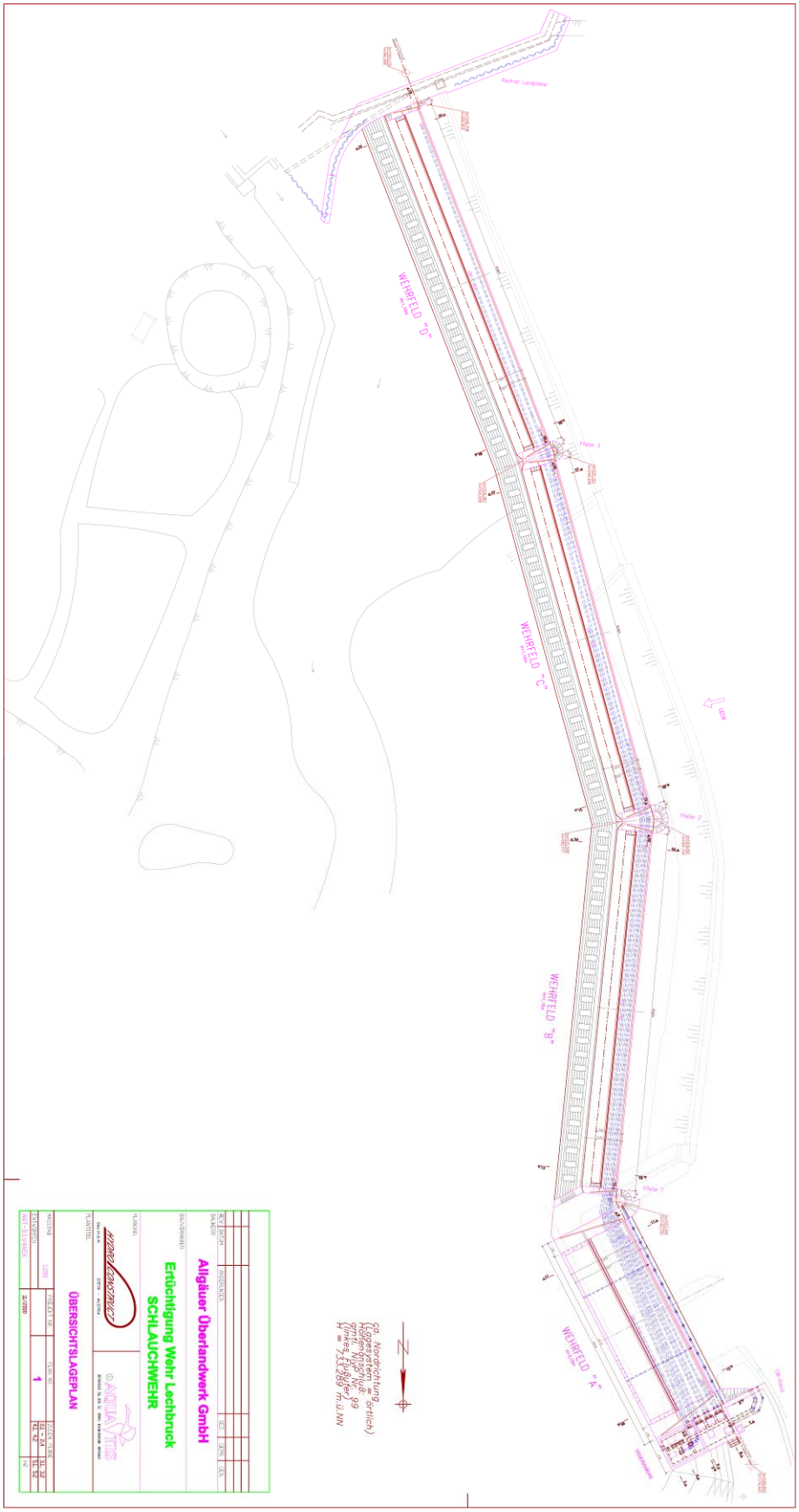
2.4.2 Aval

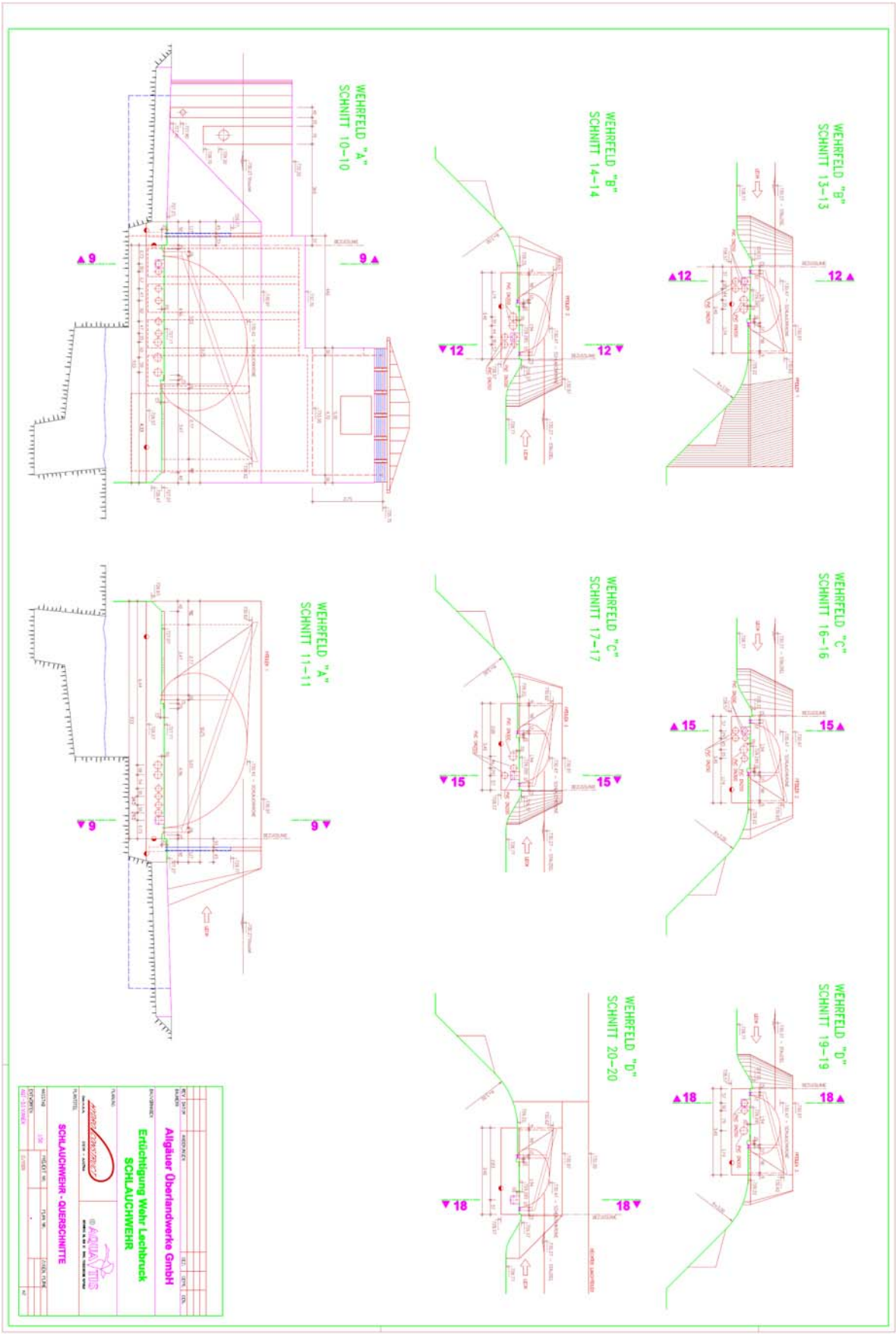
2.4.3 Chenal

2.5 Centrale hydroélectrique

ESCHER WYSS

3. Plans


Rechter Landpfeiler
WEHRFELD "D"
WEHRFELD "C"
WEHRFELD "B"
WEHRFELD "A"
Pfeiler 3
Pfeiler 2
Pfeiler 1
Allgäuer Überlandwerk GmbH
Ertüchtigung Wehr Lechbruck
SCHLAUCHWEHR
ÜBERSICHTSLAGEPLAN


WEHRFELD "B"
SCHNITT 13-13
WEHRFELD "B"
SCHNITT 14-14
WEHRFELD "A"
SCHNITT 10-10
WEHRFELD "C"
SCHNITT 16-16
WEHRFELD "C"
SCHNITT 17-17
WEHRFELD "A"
SCHNITT 11-11
WEHRFELD "D"
SCHNITT 19-19
WEHRFELD "D"
SCHNITT 20-20
Allgäuer Oberlandwerke GmbH
Erüchtigung Wehr Lechbruck
SCHLAUCHWEHR
SCHLAUCHWEHR - QUERSCHNITTE

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Lechbruck
Localisation	Lechbruck Am See (Bavière, Allemagne)
Date de la visite	18/01/2011
Maître d'Ouvrage	AÜW GmbH (producteur/distributeur d'électricité.
Procédé	Gonflage à l'eau
Largeur utile	168m
Hauteur utile	3,35 m pour la passe en RG et 1,25m les 3 autres
Hauteur de chute	Hauteur du barrage
Nombre de passes	4 passes (27m pour la passe en RG, 47m pour les 3 autres)
Cours d'eau	Lech
Débits caractéristiques	
i. Etiage	10m3/s
ii. Moyen	50m3/s
iii. Maximum	Q1000=1200m3/s ; Qcrue2005=930m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	2002
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction en aval de l'ancien barrage (barrage à hausses bois)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non, mais étude en cours pour réalisation en 2012
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique privée en aval du barrage régulant les débits inférieurs à 150 m3/s (4 turbines Kaplan pour une Pmax=4,9 MW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Hydroconstruct
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	3
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Janvier 2001
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Travaux en une seule phase et transit des débits par la centrale
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Ancien barrage
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Oui, crue de 400m3/s
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Mai 2002
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	1 an
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	L'entreprise consultée a testé le matériau de la membrane suivant le protocole Hydroconstruct. Certification qualité DIN ISO 9001/ EN 29001
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	-
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Par le constructeur
ii. Pour quelle durée ?	2 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	1,5M€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	0,7M€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Maintenir le bief à 730,27m d'altitude
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 2cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Profilés métalliques + madriers de bois, dispositif opérationnel en situation d'urgence
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Oui
L'ouvrage dispose-t-il d'une membrane de maintenance/de remplacement ?	Non
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Suite à la crue de 2005, apparitions de fuites d'eau au droit de l'ancrage aval (descellement)
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, le système de pompage compensait les pertes d'eau
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Vidange de la baudruche, réparation par l'intérieur de la baudruche
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Oui. Lors de la construction, une chute de pierre a perforé une des membranes. La réparation n'a pas posé de problème
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage ou sont collectés par les dégrilleurs de la centrale

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- 1x/semaine : inspection de contrôle - Après une crue : inspection détaillée
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Régulation de crue Peu de maintenance Adapté aux longs barrages Haute sécurité de l'installation
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Aucune pour les barrages gonflables à l'eau
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Voir plan de maintenance détaillé chapitre 1.7 « Maintenance »
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	Une seule opération non prévue par le contrat de maintenance en 10 ans de fonctionnement
i. Entretien courant – exploitation	Maximum 1% du coût de construction par an (soit environ 10 k€/an)
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	3 h par semaine
iii. Renouvellement	Aucun

Fiche d'ouvrage n°6 : Barrage de Turkheim

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 134

1.1 Description du cours d'eau 134

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 134

1.3 Détail de son fonctionnement 136

1.4 Points technologiques importants 136

1.4.1 Gonflage 136

1.4.2 Le système de purge 136

1.4.3 Trappe d'accès à l'intérieur de la baudruche 136

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 137

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 137

1.7 Maintenance 137

1.8 Aspects environnementaux 137

1.9 Phénomènes vibratoires 138

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 139

2.1 Vue satellite 139

2.2 Vues du barrage 139

2.3 Vues de détail 141

2.3.1 Baudruche 141

2.4 Vues des environs 142

2.4.1 Amont 142

2.4.2 Aval 142

3. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 143

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Wertach est un cours d'eau régulé par de nombreux barrages associés le plus souvent à une centrale hydroélectrique.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique attenante au barrage.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 2m3/s
- Q_{moyen} = 16m3/s
- Q_{100} = 360m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 1997 en lieu et place d'un ancien seuil. L'usine étant déjà présente à cette époque.

Il est constitué d'une passe de 32m de long et 3,7m de haut.

Les bajoyers de la baudruche sont verticaux, ce qui a pour effet de créer un pli au niveau de la baudruche.

Le radier présente une chute avec le niveau du lit aval.

Le local de contrôle commande se situe à l'intérieur de la centrale.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en termes de cote de plan d'eau.

Pour les débits inférieurs à 21m3/s, c'est la centrale hydroélectrique qui régule le cours d'eau. En cas de débit plus important, la baudruche prend le relais. La hauteur de chute maximale est de 6m pour une puissance de 1026kW.

La précision de régulation annoncée est de +/- 5cm

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Gonflage

Le gonflage se fait au moyen d'un compresseur.

Le temps de gonflage est de 15 à 20 minutes selon la température extérieure, celui du dégonflage de 10 minutes. La pression interne d'une baudruche totalement gonflée est de 360 millibars.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans le circuit d'alimentation.

1.4.3 Trappe d'accès à l'intérieur de la baudruche

Une trappe d'accès permet d'inspecter la baudruche de l'intérieur. Un sas permet d'éviter une perte de pression lors des entrées/sorties. Ceci permet à l'exploitant d'inspecter la membrane et de procéder aux petites réparations. L'accès à l'intérieur de la baudruche n'a pas été possible lors de la visite en raison de la formation du V-notch.

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle. Selon le type d'alerte, elles peuvent être transmises par SMS à l'agent d'exploitation.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Aucun problème signalé.

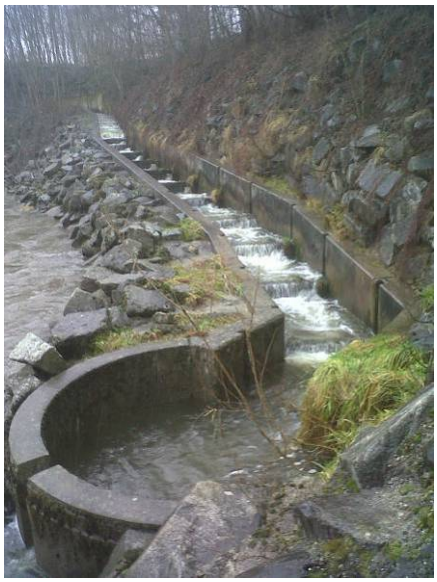
1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage. Celui-ci passe chaque jour pour effectuer une inspection de contrôle et relever les messages d'alerte non préjudiciables pour le fonctionnement de l'ouvrage, et donc non transmis directement.

Deux fois par an, une inspection de la membrane est effectuée en accédant à l'intérieur de la baudruche.

1.8 Aspects environnementaux

Une passe à poissons est présente en rive gauche, à gauche de la centrale hydroélectrique.



1.9 Phénomènes vibratoires

Lors de notre venue, un phénomène de V-notch s'était formé sur le barrage.

Ce phénomène s'explique car le barrage possède une hauteur plus importante que la hauteur de la retenue. De ce fait, lorsque le débit dépasse 21m3/s, la centrale ne peut plus réguler le plan d'eau ce qui engendre un dépassement de la cote de régulation et donc le dégonflement du barrage. Cette baisse de pression crée une instabilité qui est rétablie par la formation du V-notch.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

2.3.1 Baudruche

2.4 Vues des environs

2.4.1 Amont

2.4.2 Aval

3. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Turkheim
Localisation	Turkheim (Bavière, Allemagne)
Date de la visite	19/01/2011
Maître d'Ouvrage	RUF Automobile GmbH
Procédé	Gonflage à l'air
Largeur utile	32m
Hauteur utile	3,7m
Hauteur de chute	Hauteur du barrage
Nombre de passes	1 passe
Cours d'eau	Wertrach
Débits caractéristiques	
i. Etiage	2m3/s
ii. Moyen	16m3/s
iii. Maximum	Q100=360m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	1997
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction de l'ancien barrage (seuil fixe)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui, en rive gauche
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique privée en RG du barrage régulant les débits inférieurs à 21m3/s (4 turbines Kaplan pour une Pmax=1026 kW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre restreint
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Sumitomo
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	3
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Mai 1997
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Transit des débits par la centrale
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Enceinte de palplanches
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Septembre 1997
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	4 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Oui, 2 propositions avec une durée de vie différente ➔ Choix du la durée de vie la plus longue
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Gonflage/dégonflage
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	10 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	400k€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	200k€ dont 170k€ pour la membrane
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan ?	Régulation selon une consigne de niveau amont. En deçà de 21m3/s, c'est la centrale qui régule. Au-delà, le barrage déverse et vient suppléer la centrale
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 5cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Pieux H insérés dans des réservations présentes dans le radier + madriers de bois
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Non
Si oui, lesquels	-
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	-
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	-
Quelles ont été les opérations de réparation ?	-
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ?	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage ou sont collectés par les dégrilleurs de la centrale

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- 1x/jour : inspection de contrôle - 1x/sem : purge des canalisations - 2x/an : inspection détaillée en entrant à l'intérieur de la membrane
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Bon marché Pas de corrosion Durée de vie > 20 ans
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	-
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Remplacement de consommables (valves, composants électriques)
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	-
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	-
iii. Renouvellement	-

Fiche d'ouvrage n°7 : Barrage de Oberhofer

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 148

1.1 Description du cours d'eau 148

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 148

1.3 Détail de son fonctionnement 150

1.4 Points technologiques importants 151

1.4.1 Le gonflage 151

1.4.2 Le système de purge 152

1.4.3 Sécurité 153

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 153

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 154

1.7 Maintenance 154

1.8 Aspects environnementaux 154

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 155

2.1 Vue satellite 155

2.2 Vues du barrage 155

2.3 Vues de détail 157

2.4 Vues des environs 160

2.4.1 Amont 160

2.4.2 Aval 160

2.5 Centrale hydroélectrique 161

3. PLANS 163

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 164

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

Le barrage est implanté au droit de la rivière Gunz. Ce cours d'eau est exploité par une association de pêcheurs.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique de Monsieur Oberhofer à son meilleur rendement.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 1,8m3/s
- Q_{moyen}= 8,3m3/s
- $Q_{crue2002}$ = 111m3/s
- Q_{100} = 130m3/s
- Le barrage est dimensionné pour la crue $Q_{100.}$

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 2001 à l'aval immédiat d'un ancien barrage équipé de vannes wagon manuelles. La centrale hydroélectrique a été construite au même moment en rive droite, après la vente, par la ville, de l'ancienne centrale située plus en aval.

Le barrage est constitué d'une passe de 22m de long et 2,30m de haut, et comporte 7 modules de BGVM. Chaque module est composé d'un coussin, d'un volet métallique, de 2 sangles de maintien et d'un brise lame. Les volets ont une hauteur maximale de 2,5m. Les bajoyers sont verticaux pour permettre la manœuvre des clapets.

L'étanchéité entre chaque module est assurée par un joint plat. A noter qu'en cas d'affaissement accidentel d'un coussin, ces joints ne sont pas conçus pour reprendre les efforts.

L'étanchéité au droit des culées est assurée par un plat métallique en acier inoxydable, équipé d'un système de chauffage contre le gel.

Le radier est surélevé par rapport au niveau aval, du fait de la différence entre le niveau amont et aval, de l'ordre de 3,5m.

Le local de contrôle commande se situe à l'intérieur de la centrale.

Enfin, des évents latéraux sont présents dans les culées pour permettre l'aération de la lame d'eau.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau. En fonctionnement « normal », les débits sont inférieurs à 12m3/s et transitent donc par la centrale. En cas de débit plus important, le barrage prend le relais de la régulation et s'abaisse pour laisser passer le débit complémentaire. Lors de notre venue, le débit était inférieur à 12m3/s et le barrage ne déversait donc pas. Néanmoins, la centrale a été temporairement arrêtée pour nous permettre de visualiser le barrage en déversement.

La centrale permet de turbiner au maximum 12m3/s pour une hauteur de chute, dépendant du niveau aval, maximale de 3,5m ce qui correspond à une puissance de 280 kW.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le gonflage se fait au moyen d'un compresseur et de 7 canalisations.

Le temps de gonflage est de 55 minutes, celui du dégonflage de 15 minutes. La pression interne d'un coussin totalement gonflé est de 1,15bar.

En cas de panne d'électricité, un groupe de secours permet de gérer l'automate et le dégonflage, la puissance requise par le compresseur étant trop importante pour le gonflage.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans chaque coussin et conduite d'alimentation.

1.4.3 Sécurité

Un système de sécurité permet de dégonfler les coussins en cas de montée du plan d'eau et de non-réaction du barrage. Ce système consiste en un système de flotteur entrainant l'ouverture d'un conduit.

Un système de soupape permet également d'éviter une montée trop importante de la pression.

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel :

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) et l'ensemble des données (hauteurs des baudruches,…) sont transmis chez M.Oberhofer.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction de M.Oberhofer, qui a choisi la solution BGVM en raison de la protection supplémentaire que le système comportait. La consultation directe auprès des fournisseurs lui a permis d'obtenir des offres financières équivalentes. De plus, pour M. Oberhofer, la solution « gonflable » présente l'intérêt de ne pas devoir suivre la règle des N+1 passes obligatoire en Allemagne. En effet, pour la solution clapet, l'ouvrage doit être transparent en cas de blocage d'un clapet lors d'une crue. Ceci impose donc de réaliser une passe supplémentaire. Pour M. Oberhofer, ce serait revenu à augmenter l'emprise de son ouvrage d'une passe. Pour une largeur de 22m, il aurait dû réaliser deux clapets de 22m ou trois clapets de 11m.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

L'hiver dernier, un acte de vandalisme a été commis à l'aide d'un cocktail Molotov. Un des coussins a été touché sans réellement prendre feu. Par sécurité, il est prévu de remplacer ce coussin. Pour cela, l'ensemble du module doit être retiré. Un batardeau (merlon en terre) sera mise en place à l'amont pour permettre l'intervention de l'entreprise Dyrhoff.

1.7 Maintenance

M. Oberhofer contrôle chaque jour depuis son poste situé à son domicile les données du barrage. Il effectue une visite de contrôle une fois par mois (purges des eaux de condensation) et après chaque évènement de crue.

1.8 Aspects environnementaux

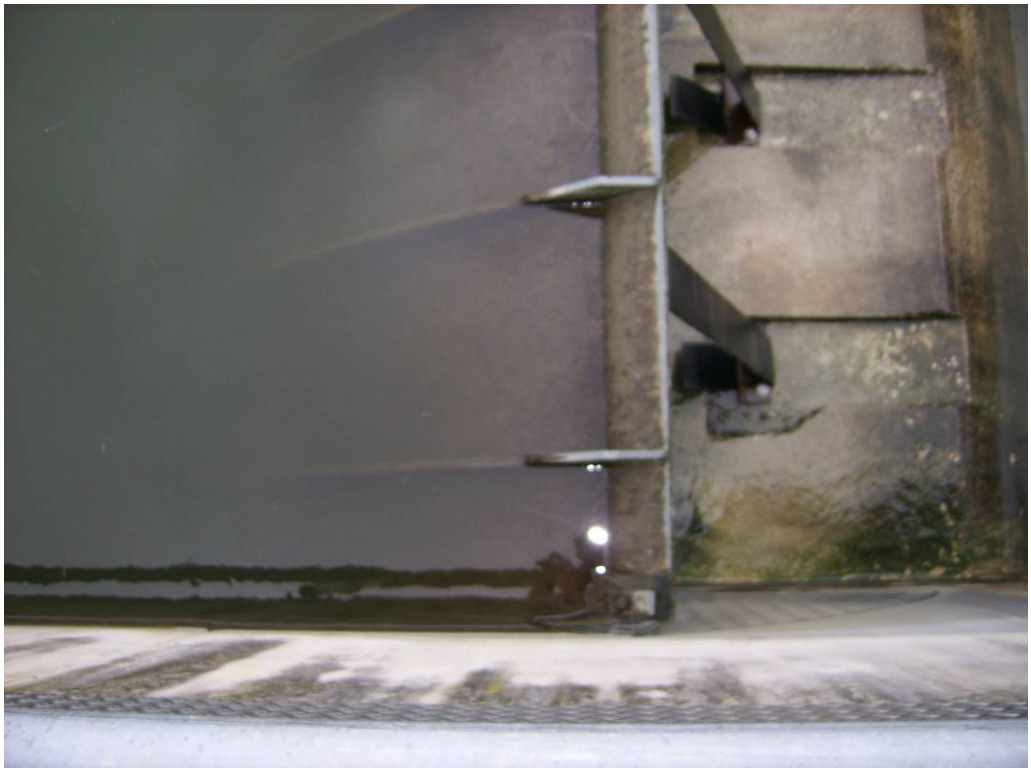
Une passe à poissons est présente en RD.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail



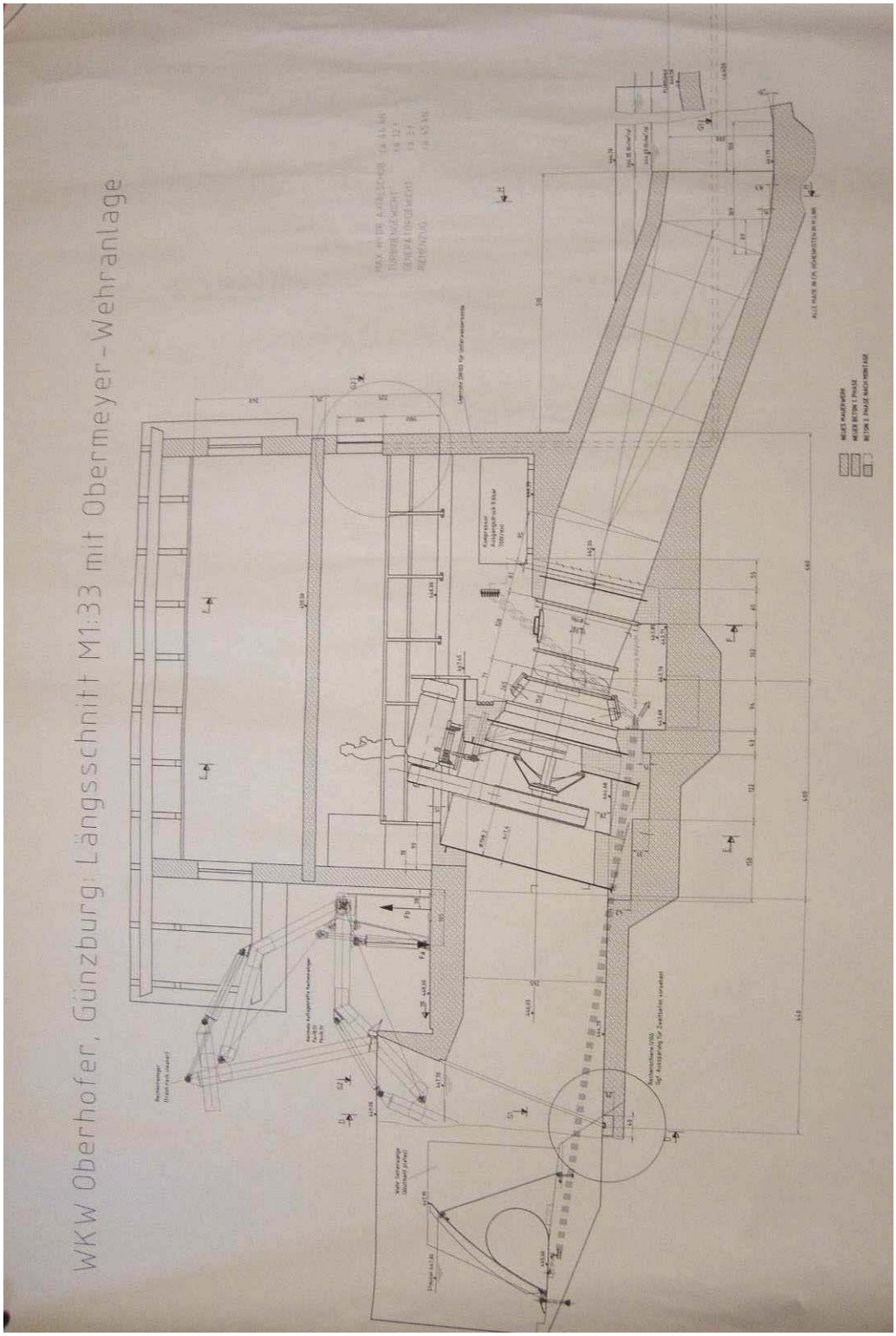
2.4 Vues des environs

2.4.1 Amont

2.4.2 Aval

2.5 Centrale hydroélectrique

3. Plans


WKW Oberhofer, Günzburg: Längsschnitt M1:33 mit Obermeyer-Wehranlage

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Oberhofer
Localisation	Guntzbourg (Bavière, Allemagne)
Date de la visite	19/01/2011
Maître d'Ouvrage	M. Oberhofer
Procédé	BGVM (Obermeyer/Dyrhoff)
Largeur utile	22m
Hauteur utile	2,3m
Hauteur de chute	Hauteur du barrage
Nombre de passes	1 passe
Cours d'eau	Günz
Débits caractéristiques	
i. Etiage	1,8 m3/s
ii. Moyen	8,3 m3/s
iii. Maximum	Q100=130m3/s ; Qcrue2002=111m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	2001
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction à l'aval d'un ancien barrage à vannes wagon
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui, en rive droite (imposée par les associations de pêcheurs)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique privée appartenant à M. Oberhofer régulant les débits inférieurs à 12m3/s (1 turbine, HchuteMax=3,5m, Pmax=280kW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Consultation directe auprès des fournisseurs
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base car la règle N+1(voir chapitre 1.5) en Allemagne pour les clapets aurait imposé un doublement du barrage
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Dyrhoff
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	2 consultations (1 BG et 1 BGVM) ➔ prestations au même prix après négociation
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	2000
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Utilisation d'un chenal existant pour déviation des eaux vers l'ancienne centrale hydroélectrique de la ville
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Ancien barrage
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	2001
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	1 an
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Test de gonflage et de dégonflage
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Dyrhoff
ii. Pour quelle durée ?	2 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Non
Quel est le coût de l'ouvrage ?	1,6M€
i. Génie civil	
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une consigne de niveau amont. En deçà de 12m3/s, c'est la centrale qui régule. Au-delà, le barrage déverse et vient suppléer la centrale
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 5cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Inexistant
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Vandalisme au cocktail Molotov sur une baudruche
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, la baudruche n'a pas été dégradée, mais il est prévu de la remplacer par sécurité
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui, intervention à venir
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Remplacement de la baudruche par mise en place d'un batardeau (digue en terre) pour retrait du module complet
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage ou sont collectés par les dégrilleurs de la centrale

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui chaque jour : contrôle des paramètres par télégestion
i. A quelle fréquence ?	- 1x/mois : inspection de contrôle, purge - Après une crue
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	pas de règle N+1 (voir chapitre 1.5) protection contre embâcles
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Aucune
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Remplacement des filtres, purge, petites réparations, renouvellement d'un module
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	10 min/jour
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	300 euros/an
iii. Renouvellement	Renouvellement d'un module (20k€ hors coûts de batardage)

Fiche d'ouvrage n°8 : Barrage de Eisenbahner

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 168

1.1 Description du cours d'eau 168

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 168

1.3 Détail de son fonctionnement 170

1.4 Points technologiques importants 170

1.4.1 Gonflage 170

1.4.2 Le système de purge 171

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 171

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 171

1.7 Maintenance 171

1.8 Aspects environnementaux 171

1.9 Phénomènes vibratoires 172

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 173

2.1 Vue satellite 173

2.2 Vues du barrage 173

2.3 Vues de détail 175

2.4 Vues des environs 175

2.4.1 Aval 175

2.5 Centrale hydroélectrique 176

3. PLANS 178

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 179

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière du Lech est un cours d'eau régulé par de nombreux barrages associés le plus souvent à une centrale hydroélectrique.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique attenante au barrage.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 33m3/s (tout passe par la centrale électrique)
- Q_{moyen} = 114m3/s
- Q_{100} = 1600m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 2010 en lieu et place d'un ancien seuil, dans le but de rehausser le plan d'eau.

Il est constitué de trois passes dont deux équipées de baudruches gonflables de 45,2m de long et 0,43m de haut.

Une troisième passe est équipée d'une vanne wagon de 16 m de large et 3,5 m de haut qui permet le passage des plus gros débits.

Les bajoyers des culées et de la pile sont verticaux du fait de la faible hauteur de la baudruche. Le radier présente plusieurs chutes successives avec une différence entre le niveau amont et aval importante, de l'ordre de 6m.

Enfin, le local de contrôle commande se situe à l'intérieur de la centrale et une armoire de manœuvre se situe en rive droite, au droit de la passerelle de la vanne wagon.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau.

Pour les débits inférieurs à 33m3/s, c'est la centrale hydroélectrique qui régule le cours d'eau. En cas de débit plus important, les baudruches prennent le relais.

Elles vont alors gérer la régulation des débits entre 33m3/s et 80m3/s environ. A partir de 80m3/s, la vanne wagon va s'ouvrir partiellement et le barrage gonflable va se relever, reprenant à nouveau le rôle de régulation du plan d'eau et ainsi de suite jusqu'à effacement complet du barrage lors de crues exceptionnelles.

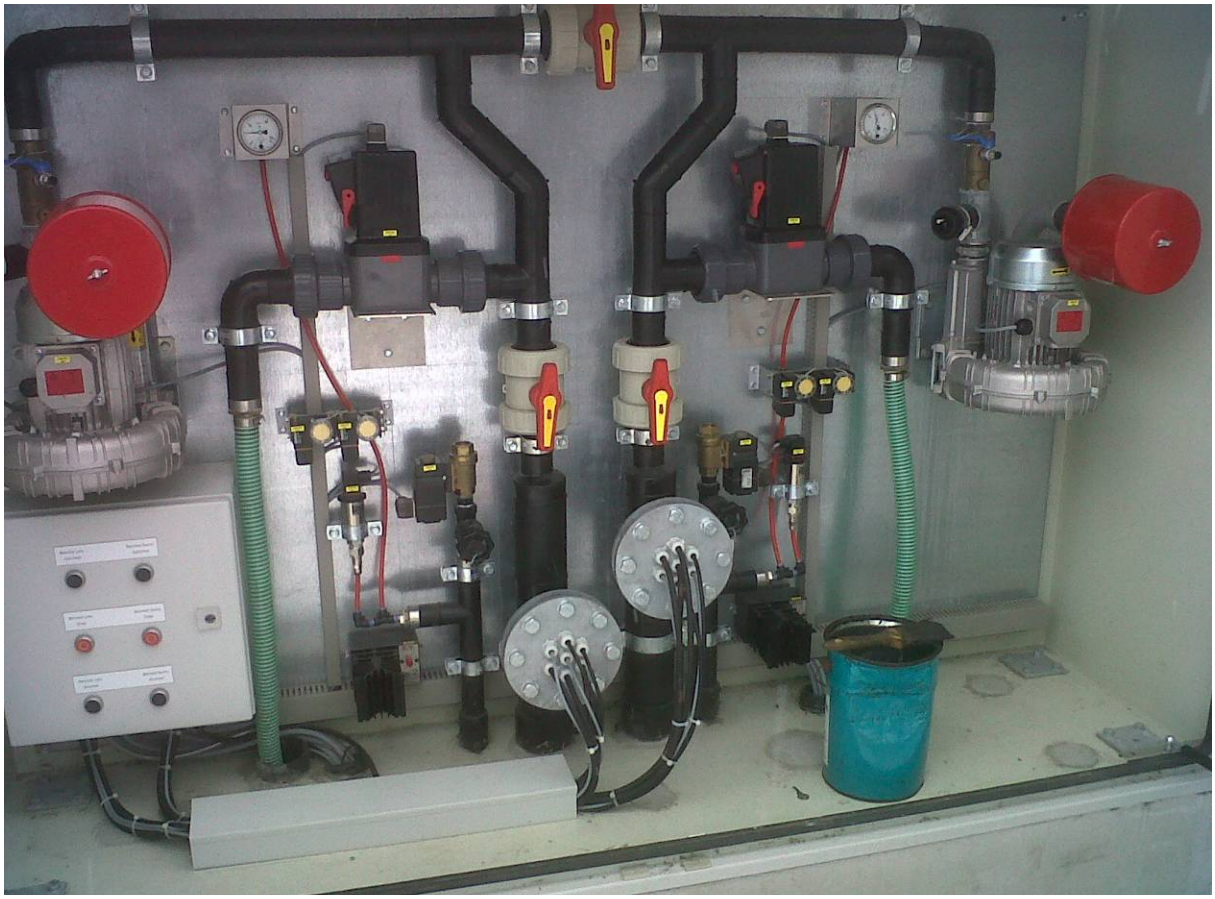
La hauteur de chute maximale pour le turbinage est de 6m pour une puissance de 1850kW.

La précision de régulation annoncée par le fournisseur est de +/- 2cm.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Gonflage

Le gonflage se fait au moyen d'un compresseur par baudruche avec possibilité de basculer sur l'autre membrane en secours:



Le temps de gonflage et dégonflage est de l'ordre de 20 minutes.

La pression interne d'une baudruche totalement gonflée est de 75 millibars.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans le circuit d'alimentation.

1.5 Evaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle dans la centrale, directement accessible à l'agent d'exploitation qui gère également la centrale hydroélectrique.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage et de l'exploitant.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Aucun problème signalé.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et de la maintenance du barrage. Celui-ci est présent chaque jour sur le site.

1.8 Aspects environnementaux

Une passe à poissons est présente entre les passes gonflables et la vanne wagon :

1.9 Phénomènes vibratoires

Lors de notre venue, un léger phénomène de V-notch s'était formé sur le barrage :

Ce phénomène est moins important que sur d'autres barrages déjà visités du fait de son élancement.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

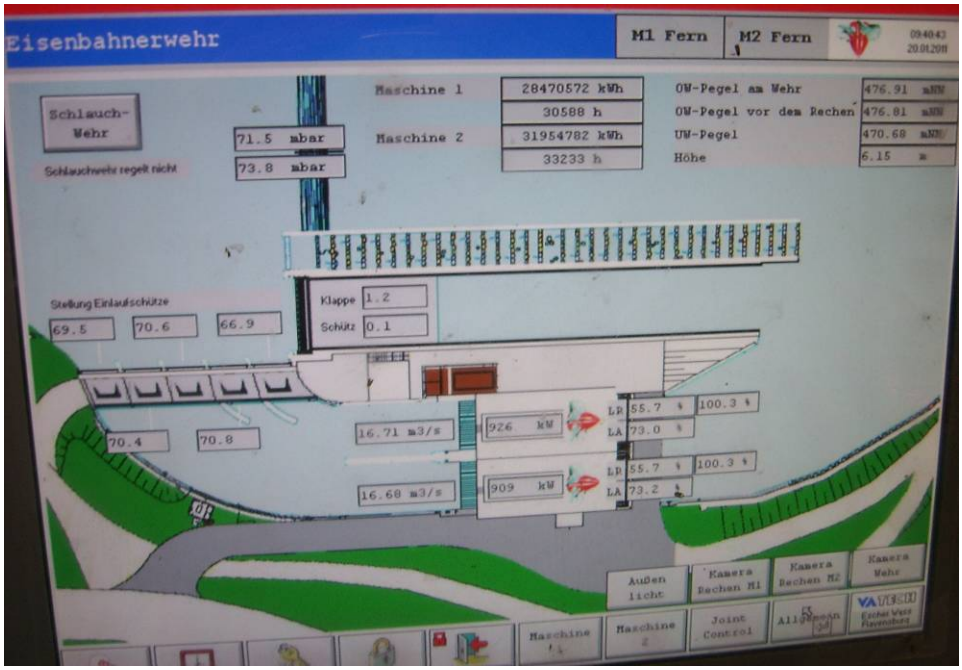
2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

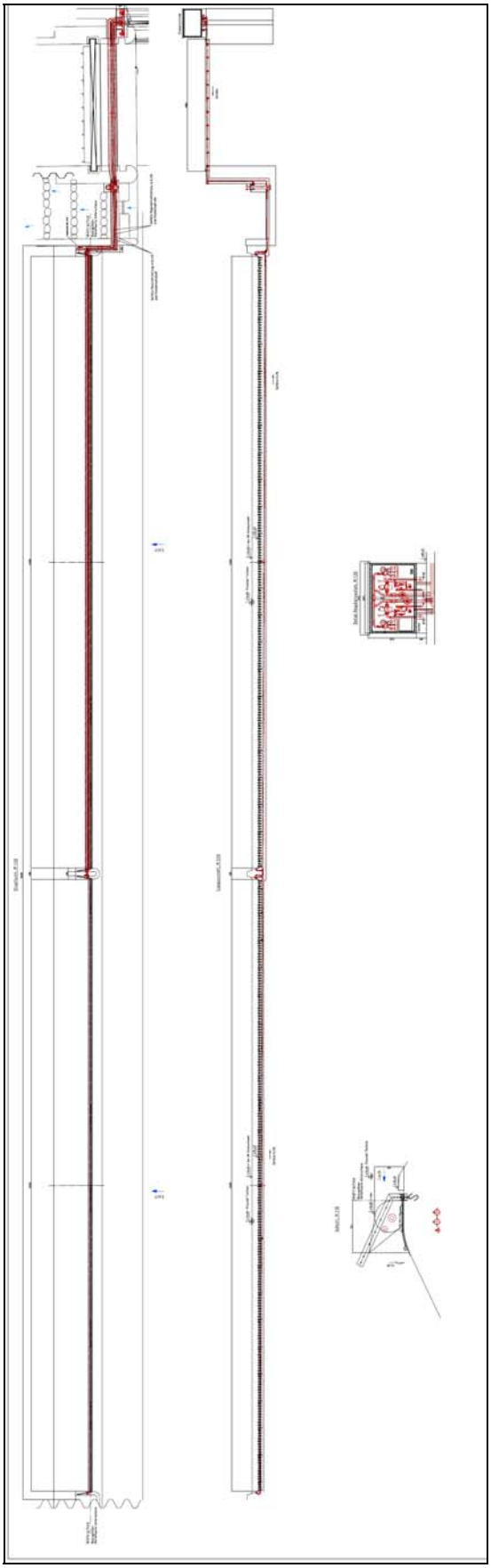
2.4 Vues des environs

2.4.1 Aval

2.5 Centrale hydroélectrique


Eisenbahnerwehr
M1 Fern
M2 Fern
Schlauch-Wehr
Schlauchwehr regelt nicht
71.5 mbar
73.8 mbar
Maschine 1
28470572 kWh
30588 h
Maschine 2
31954782 kWh
33233 h
OW-Pegel am Wehr
476.91 mNN
OW-Pegel vor dem Rechen
476.81 mNN
UW-Pegel
470.68 mNN
Höhe
6.15 m
Stellung Einlaufschütze
69.5
70.6
66.9
Klappe 1.2
Schütz 0.1
70.4
70.8
16.71 m3/s
16.68 m3/s
926 kW
909 kW
LR 55.7 %
LA 73.0 %
100.3 %
LR 55.7 %
LA 73.2 %
100.3 %
Außen licht
Kamera Rechen M1
Kamera Rechen M2
Kamera Wehr
Maschine 1
Maschine 2
Joint Control
Allgemein

3. Plans



4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Eisenbahner
Localisation	Augsburg, Bavière
Date de la visite	20/01/2011
Maître d'Ouvrage	Lutzenberger company
Procédé	Gonflage à l'air
Largeur utile	Barrage gonflable : 90,4m Vanne wagon : 16m
Hauteur utile	Barrage gonflable : 0,43m Vanne wagon : 3,5m
Hauteur de chute	Hauteur de chute barrage
Nombre de passes	2
Cours d'eau	Lech
Débits caractéristiques	
i. Etiage	33m3/s
ii. Moyen	114m3/s
iii. Maximum	Q100 = 1600m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	2010
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Rehausse seuil existant
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non, sauf pour la vanne wagon
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	1850 kW pour un Qmax=33m3/s
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Floecksmühle
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	3
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Janvier 2010
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Régulation par la centrale hydroélectrique jusqu'à 33m3/s, puis par le barrage gonflable, et par la vanne wagon en secours par paliers
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Digue en terre
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Fin mars 2010
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	3 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Oui, mise en place très rapide de la baudruche
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Oui
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Certificat délivré par le fournisseur
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Par Floecksmühle
ii. Pour quelle durée ?	2 ans pour l'ensemble de la bouchure (extension à 5 ans pour la baudruche)
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	155k€ tout compris
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Maintien du bief
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	+/- 2 cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Aucun
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non mais faible impact du fait de la hauteur du barrage gonflable
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Non
Si oui, lesquels	-
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	-
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	-
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	-
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	-
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Pas de consigne particulière
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	L'exploitant de la centrale effectue un contrôle journalier, ainsi qu'une purge hebdomadaire des circuits d'alimentation
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Economique et fiable
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Aucune à ce jour

Questions	Réponses
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Opération de purge
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	1% par an
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	Aucun pour le moment
iii. Renouvellement	Programmé après 30 ans

Fiche d'ouvrage n°9 : Barrage de Kiebingen

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 183
1.1 Description du cours d'eau 183
1.2 Description synthétique de l'ouvrage 183
1.3 Détail de son fonctionnement 184
1.4 Points technologiques importants 185
1.4.1 Gonflage 185
1.4.2 Le système de purge 186
1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 186
1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 187
1.7 Maintenance 187
1.8 Aspects environnementaux 188
1.9 Phénomènes vibratoires 189
2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 190
2.1 Vue satellite 190
2.2 Vues du barrage 190
2.3 Vues de détail 192
2.3.1 Baudruche 192
2.4 Vues des environs 193
2.4.1 Amont 193
2.4.2 Aval 193
2.5 Centrale hydroélectrique 193
3. PLANS 195
4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 196

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Neckar est un cours d'eau régulé par de nombreux barrages associés le plus souvent à une centrale hydroélectrique.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique attenante au barrage.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 2m3/s
- Q_{moyen} = 15,6m3/s
- Q_{100} = 549m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 1998 en lieu et place d'un ancien seuil ; l'usine était déjà présente à cette époque.

Il est constitué de 2 passes de 23,18m de long et 3,25m de haut.

Les bajoyers de la baudruche sont verticaux, ce qui a pour effet de créer un pli au niveau de la baudruche.

Le radier présente une chute avec le niveau du lit aval.

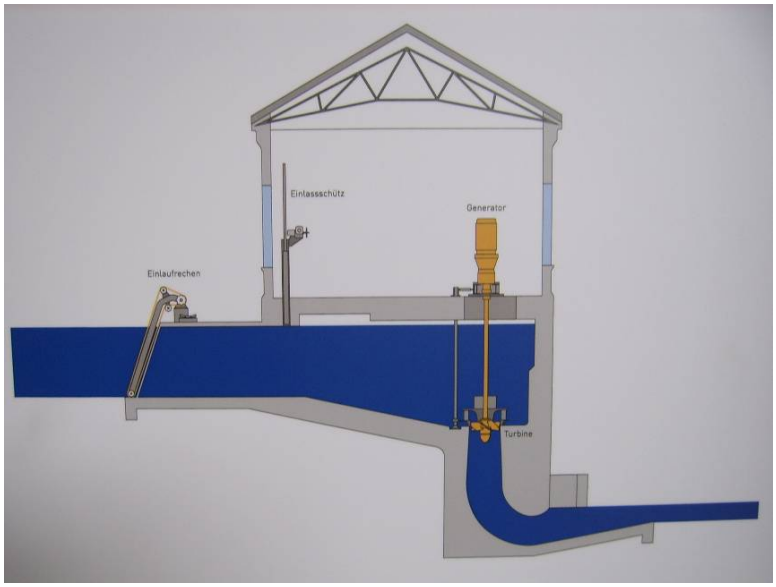
Le local de contrôle commande se situe à l'intérieur de la centrale.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique avec une consigne de régulation en terme de cote de plan d'eau.

Pour les débits inférieurs à 22m3/s, c'est la centrale hydroélectrique qui régule le cours d'eau. En cas de débit plus important, les baudruches prennent le relais. Un système de communication entre la turbine et le barrage permet cette prise de relais.

La hauteur de chute maximale est de 8,3m pour une puissance de 1560kW pour les 4 turbines.



La précision de régulation annoncée par le fournisseur est de +/- 2cm. Lors de notre venue, la consigne était de 334,60m. La barrage surversait sur la passe en rive droite et les niveaux mesurés étaient de 334,59m en rive gauche et 334,58m en rive droite.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Gonflage

Le gonflage se fait au moyen de deux compresseurs mais un seul suffit.

Le temps de gonflage et dégonflage est de 40 minutes. La pression interne d'un coussin totalement gonflé est de 315 millibars.

Un système de vidange de secours permet le dégonflage de la baudruche.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge présent dans un puisard en rive droite, permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans le circuit d'alimentation.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

Un agent est présent la journée sur le site pour gérer la centrale et le barrage. De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) est enregistrée sur le PC de contrôle. Selon le type d'alerte, elles peuvent être transmises par SMS à l'agent d'exploitation.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

En cas de coupure de communication entre le barrage et la centrale, chaque système se gère indépendamment, ce qui peut engendrer des problèmes de fonctionnement.

Suite à plusieurs crevaisons du fait d'objets coupants se coinçant sous la baudruche, une surélévation d'une des baudruches a été effectuée coté gauche au moyen d'un « matelas » en caoutchouc. Ceci permet de provoquer la création du V-Notch coté droit et ainsi de s'assurer que si un objet doit se glisser sous la baudruche, il se fera coté gauche (lieu des faibles lames d'eau), c'est-à-dire du coté où la baudruche est visible afin de faciliter les opérations d'entretien.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage et de la centrale. Celui-ci est présent sur site toute la journée.

1.8 Aspects environnementaux

Une passe à poissons est présente en rive gauche.

1.9 Phénomènes vibratoires

Lors de notre venue, un phénomène de V-notch s'était formé sur le barrage.

Ce phénomène s'explique par le fait que la baudruche possédait une pression interne de 220 millibars pour pouvoir abaisser sa cote de retenue (similaire à la consigne de régulation). De ce fait, la surverse a engendré une charge sur la baudruche, non compensée par la pression interne, créant ainsi le phénomène de V-notch.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

2.3.1 Baudruche

2.4 Vues des environs

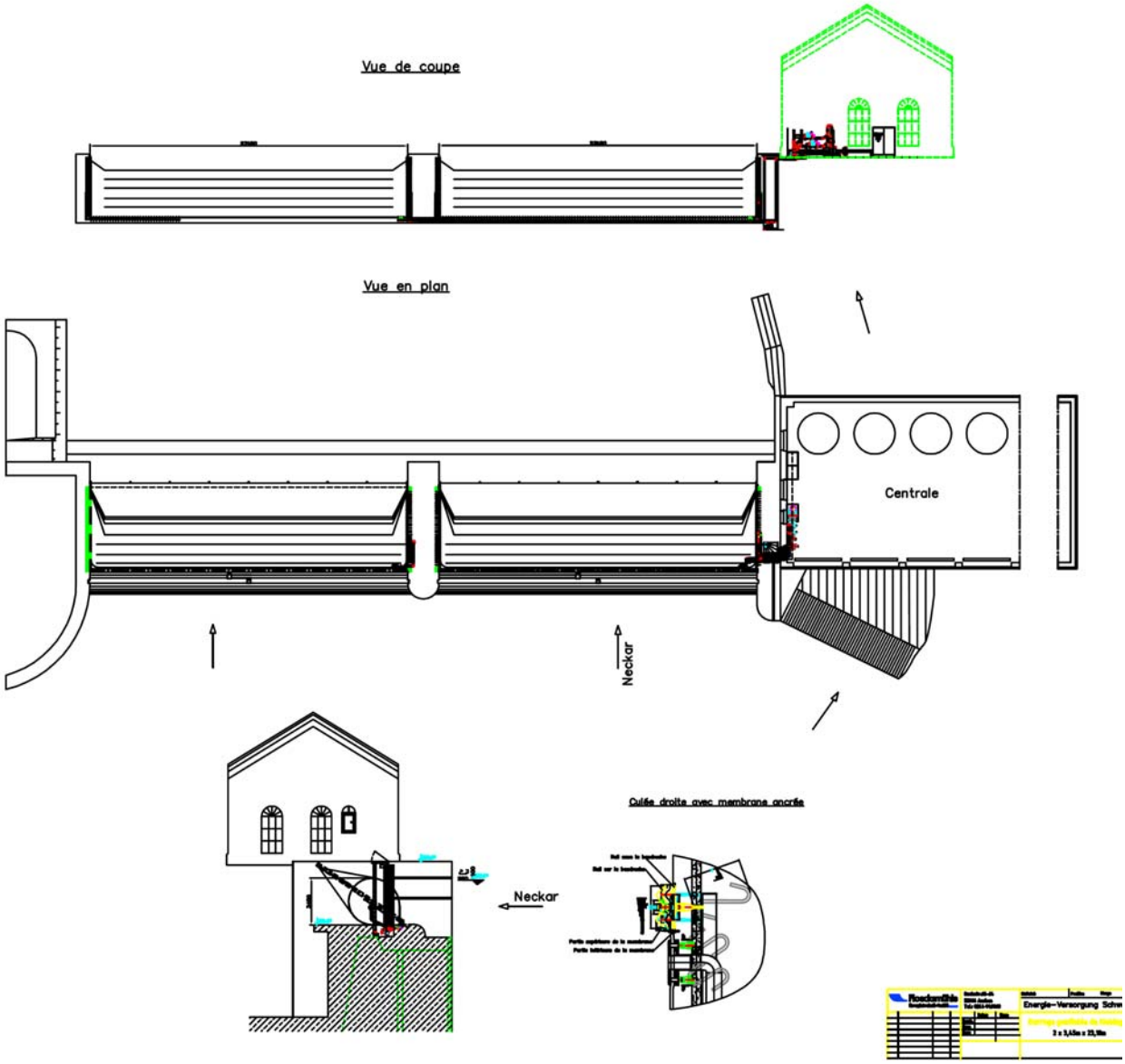
2.4.1 Amont

2.4.2 Aval

2.5 Centrale hydroélectrique

1902-1903

3. Plans


Vue de coupe
Vue en plan
Centrale
Neckar
Neckar
Culée droite avec membrane ancrée

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Kiebingen
Localisation	Kiebingen (Bade Wurtemberg, Allemagne)
Date de la visite	20/01/2011
Maître d'Ouvrage	Energie Baden Württemberg (EnBW)
Procédé	Gonflage à l'air
Largeur utile	46,36m
Hauteur utile	3,25m
Hauteur de chute	Hauteur du barrage
Nombre de passes	2 passes
Cours d'eau	Neckar
Débits caractéristiques	
i. Etiage	2m3/s
ii. Moyen	15,60m3/s
iii. Maximum	Q100 = 549m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	1998
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction à l'aval immédiat de l'ancien barrage (vannes wagon)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui, en rive gauche
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique privée en rive droite, attenante au barrage, régulant les débits inférieurs à 22m3/s (4 turbines Kaplan pour une Pmax=1,6MW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Appel d'offre ouvert, en 2 étapes : - AO pour choix entre BG et clapet - AO pour le GC du BG
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Deux lots: un pour le GC et un pour la membrane
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, Floeksmühle
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	GC : 6 entreprises Bouchure : 2 entreprises ont proposé un barrage gonflable et trois autres ont proposé une solution clapet
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non
3- PHASE DE CONSTRUCTION	

Questions	Réponses
A quelle date a débuté le chantier ?	Octobre 1997
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation passe par passe
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Batardeau en terre pour la première passe et rideau de palplanche pour la seconde
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Juillet 1998
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	10 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Certificat délivré par le fournisseur
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	5 ans, dont 2 ans pour l'assistance à l'exploitation
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	1,4M€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	0,2M€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une consigne de niveau amont. En deçà de 22m3/s, c'est la centrale qui régule. Au-delà, le barrage déverse et vient suppléer la centrale
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 2cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Pieux H insérés dans des réservations présentes dans le radier + madriers de bois + parois métalliques
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue : éventuel batardage de maintenance (mode dégradé)
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Crevaisons (3 à 5cm) dues à des objets coupant se coinçant sous la baudruche
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, le compresseur compensait les fuites
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Abaissement du niveau amont de 0,8m sous l'arase de la membrane pour intervention sur place en étant hors d'eau. Réparation par vulcanisation à froid
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Oui, en cas de coupure de la communication entre le barrage et la centrale, les systèmes fonctionnent indépendamment, ce qui peut engendrer l'affaissement du barrage et l'arrêt de la turbine en période d'étiage
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage ou sont collectés par les dégrilleurs de la centrale

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- 1x/jour : inspection de contrôle (purge, contrôle de l'absence d'objet sous la baudruche)
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Economique et fiable
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Vulnérabilité due au risque d'objets coupants se coinçant sous la baudruche ➔ inspection régulière
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	-
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	-
i. Entretien courant – exploitation	-
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	-
iii. Renouvellement	-

Fiche d'ouvrage n°10 : Barrage de Gapeau

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 200

1.1 Description du cours d'eau 200

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 200

1.3 Détail de son fonctionnement 201

1.4 Points technologiques importants 202

1.4.1 Le gonflage 202

1.4.2 Local 205

1.4.3 Sécurité 205

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 205

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 206

1.7 Maintenance 206

1.8 Aspect environnementaux 206

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 207

2.1 Vue satellite 207

2.2 Vues du barrage 207

2.3 Vues de détail 209

2.4 Vues des environs 210

2.4.1 Amont 210

2.4.2 Aval 210

3. PLANS 211

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 215

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière du Gapeau est un cours d'eau qui se jette dans la mer méditerranée.

Le but du barrage, situé à 1km de la mer, est de maintenir le niveau du plan d'eau pour l'alimentation des nappes phréatique tout en protégeant les eaux amont des remontées salines. De plus ce barrage en s'effaçant permet de gérer les crues particulièrement violentes.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 2m3/s
- $Q_{crue\ 1999}$ = 400m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 1970 en lieu et place d'un ancien seuil. Ce barrage était initialement équipé de membrane EMH qui a été remplacée en 2002 après 30 ans de service. En effet, les multiples réparations suite à de nombreux vandalismes et poinçonnements par passage de blocs avaient rendu la membrane assez usée malgré les réparations. De plus, le système d'ancrage du barrage ne permettait pas le démontage de la baudruche pour des réparations en usine et a donc été changé lors de ce remplacement.

Le barrage est constitué d'une passe de 27,5m de long et 1m de haut.

Les bajoyers des baudruches sont inclinés selon une pente de 3 H/ 2 V.

Le radier présente une légère chute avec le niveau du lit aval.

Enfin, le barrage est manœuvré au moyen de quatre colonnes d'eau en rive droite.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en automatique selon deux consignes de régulation haute et basse, en terme de cote de plan d'eau.

La précision de régulation est donc de +/- 10cm, mais cela ne constitue pas une limite du système de régulation, le barrage ne nécessitant pas une régulation plus fine.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le remplissage se fait au moyen de cinq colonnes d'eau.

Une première colonne accueille des capteurs de mesure pour le contrôle des niveaux.

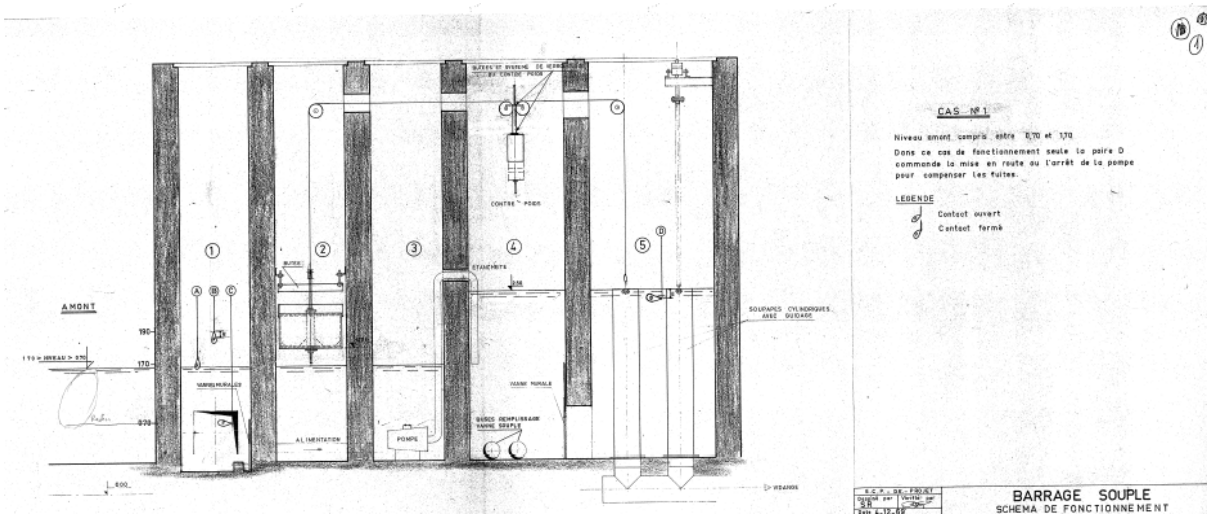
Une seconde colonne est en communication au plan d'eau amont et est équipée d'un flotteur reliée à une poulie. Ce flotteur engendre la mise en route du pompage ou de la vidange selon les variations du plan d'eau.

La troisième colonne constitue la colonne en relation avec le plan d'eau amont dans laquelle les eaux de pompage sont prélevées.

La quatrième colonne est en relation avec la baudruche et reçoit les eaux de pompage de la précédente colonne.

La dernière colonne est également en relation avec la baudruche et accueille une vanne conique reliée au flotteur de la seconde colonne et qui obstrue une canalisation de vidange selon le niveau amont.

Les colonnes décrites précédemment sont notées de 1 à 5 sur le plan ci-dessous.



La hauteur d'eau de fonctionnement du barrage est de 1,8m.

1.4.2 Local

Le local se situe à proximité des colonnes en rive droite, il accueille un automate qui transmet les informations (hauteur amont, hauteur du barrage, pression interne, ouverture de la vanne) au centre d'exploitation situé à quelques km.

1.4.3 Sécurité

Un évent de trop-plein permet de limiter le niveau d'eau dans les colonnes de régulation en cas de fonctionnement bloqué de la pompe de relevage des eaux.

En cas de non fonctionnement de la pompe, une alerte est envoyée au centre d'exploitation.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) et l'ensemble des données (hauteurs des baudruches,…) sont transmises au centre d'exploitation situé dans la centrale hydroélectrique. L'agent d'exploitation est donc au courant en permanence de ces informations. De plus, cet ouvrage fait partie d'une télégestion groupée. Les informations sont donc également transmises au centre de télégestion pour les astreintes.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction de l'exploitant et du Maître d'Ouvrage.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Plusieurs cas de vandalisme dus à des conflits avec les pêcheurs des environs qui viennent aux abords du barrage et notamment en entrée de la passe à poissons. Depuis, la mise en place du nouveau barrage, d'une grille de protection et d'une caméra vidéo, un seul cas a été observé en 10 ans.

La membrane, après plus de 30 ans de service, a dû être changée. En effet, les travaux de maintenance à la fin des années 1990 s'élevaient à environ 10k€ par an et ces frais ne pouvaient qu'augmenter au fil des ans, aux dires des experts consultés. Un appel d'offres a donc été lancé pour la fourniture de la baudruche. Le montant de la baudruche s'est élevé à 45k€, auxquels il faut ajouter la fourniture de la visserie, le démontage de l'ancienne membrane (y compris système d'ancrage), le nettoyage du radier et les reprises d'étanchéité, le montage de la nouvelle baudruche (30k€ au total, travaux réalisés par Boccard dans le cadre d'un marché à bons de commande avec SCP), ainsi que les coûts de maitrise d'œuvre (10k€, réalisée par SCP). Soit un total de 85k€.

Les travaux de remplacement de la baudruche ont été réalisés en Juillet 2002. Le batardage de l'ouvrage a commencé le 8 Juillet, au moyen d'un batardeau d'un mètre de haut constitué de pieux H métalliques, dans lequel des madriers de bois ont été insérés, et d'une membrane lestée en pied pour assurer l'étanchéité. L'ancienne membrane a été démontée le 12 Juillet, après dégagement des fixations. La nouvelle membrane a été livrée le 23, ce qui a permis de rendre l'ouvrage opérationnel le 30 Juillet, soit 23 jours après le début des travaux.

1.7 Maintenance

Toutes les informations sont transmises au centre d'exploitation de SCP, concessionnaire de l'ouvrage. Une équipe d'exploitation intervient régulièrement pour les opérations d'entretien courant et la maintenance.

1.8 Aspect environnementaux

Une passe à poissons est présente en rive droite.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

Barrage de Gapeau

2.2 Vues du barrage

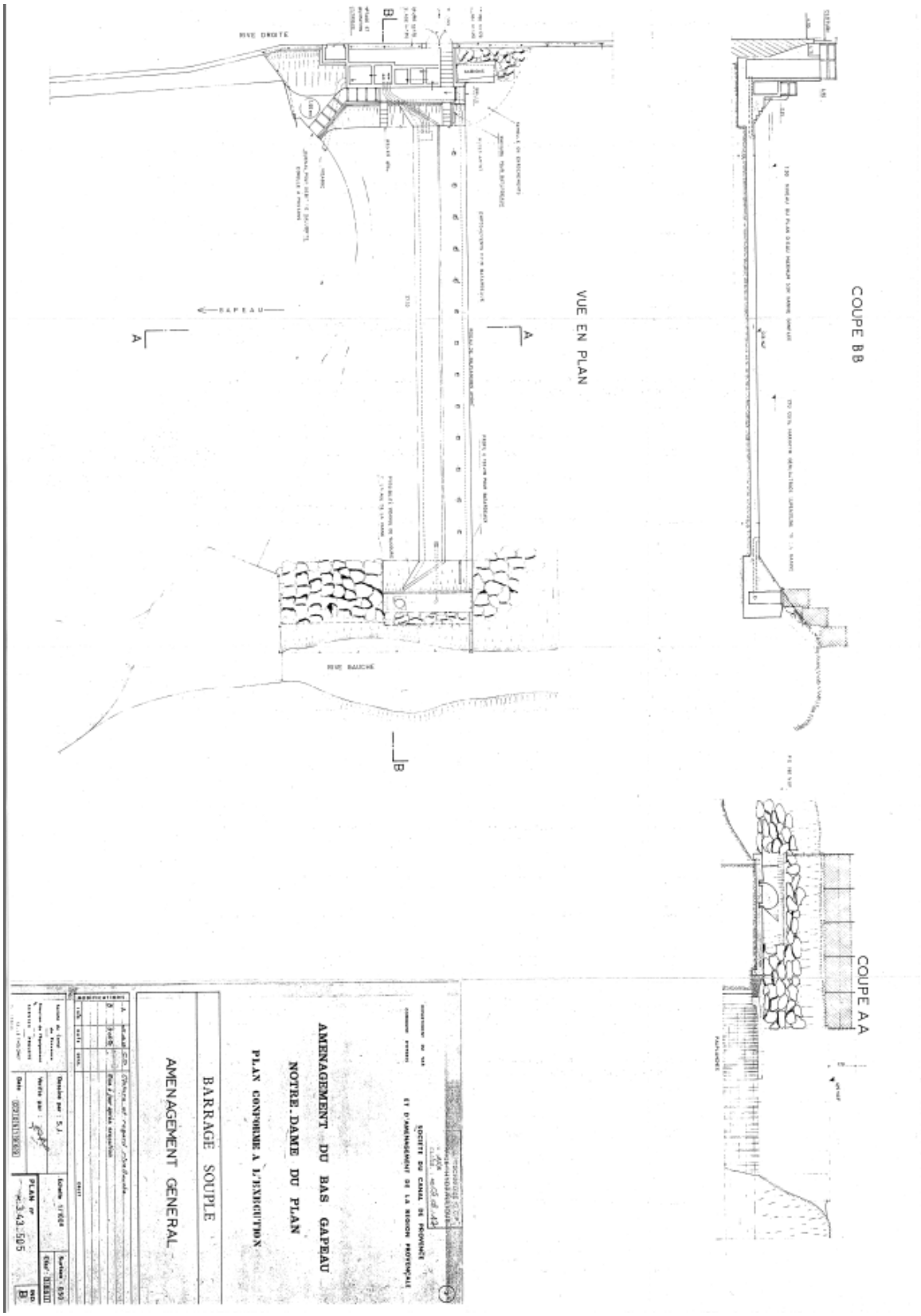
2.3 Vues de détail

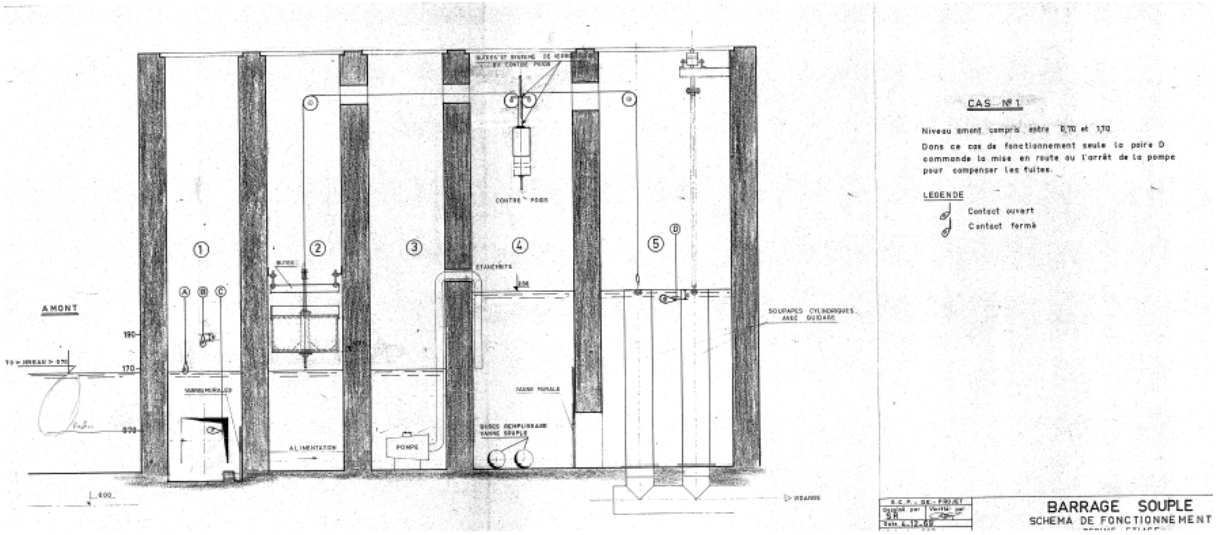
2.4 Vues des environs

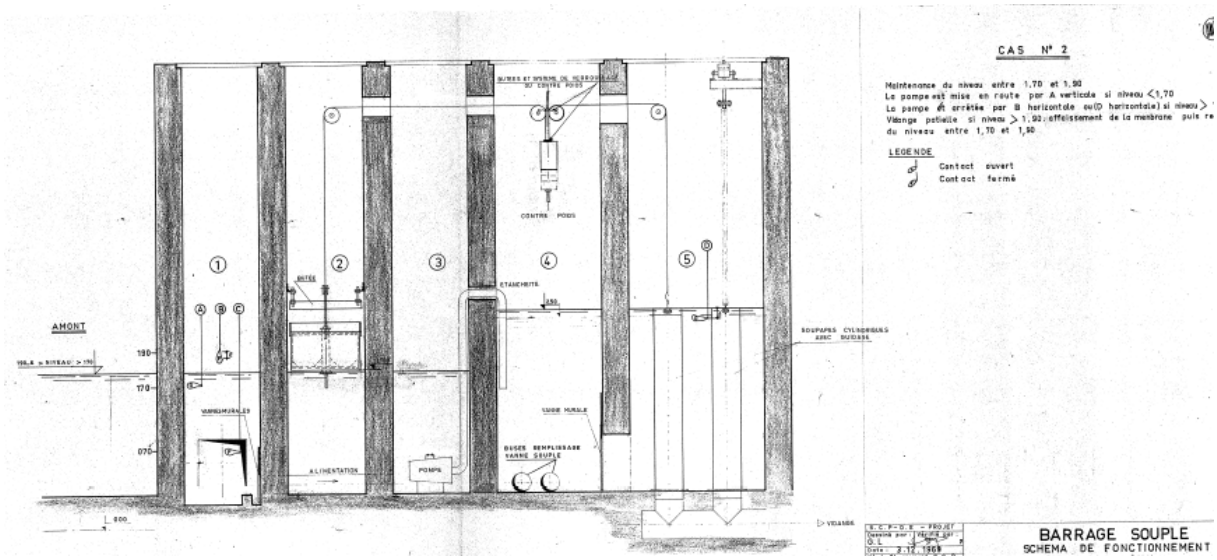
2.4.1 Amont

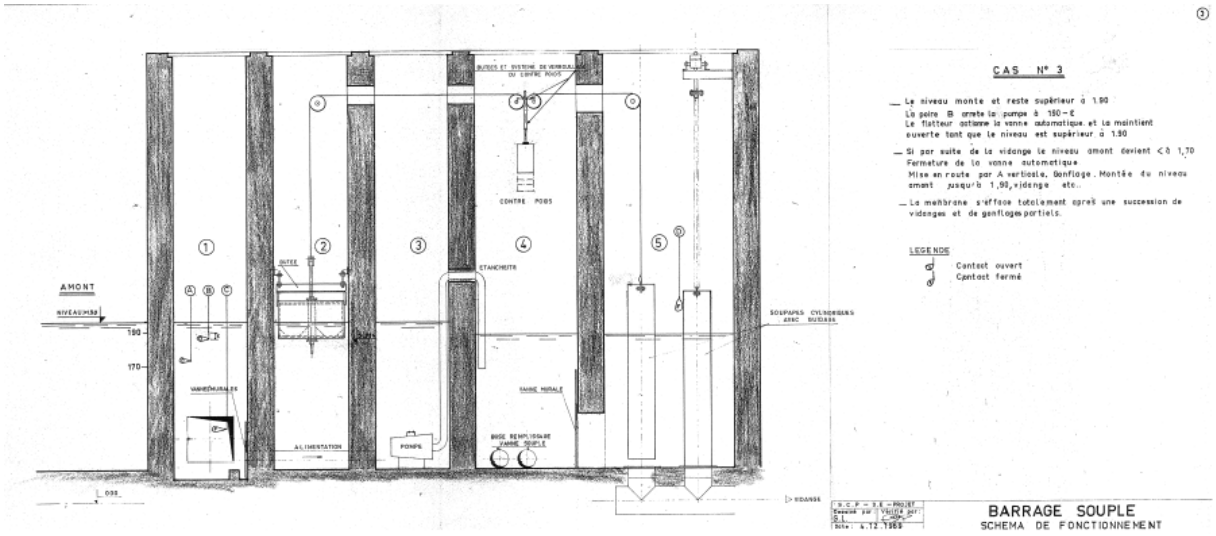
2.4.2 Aval

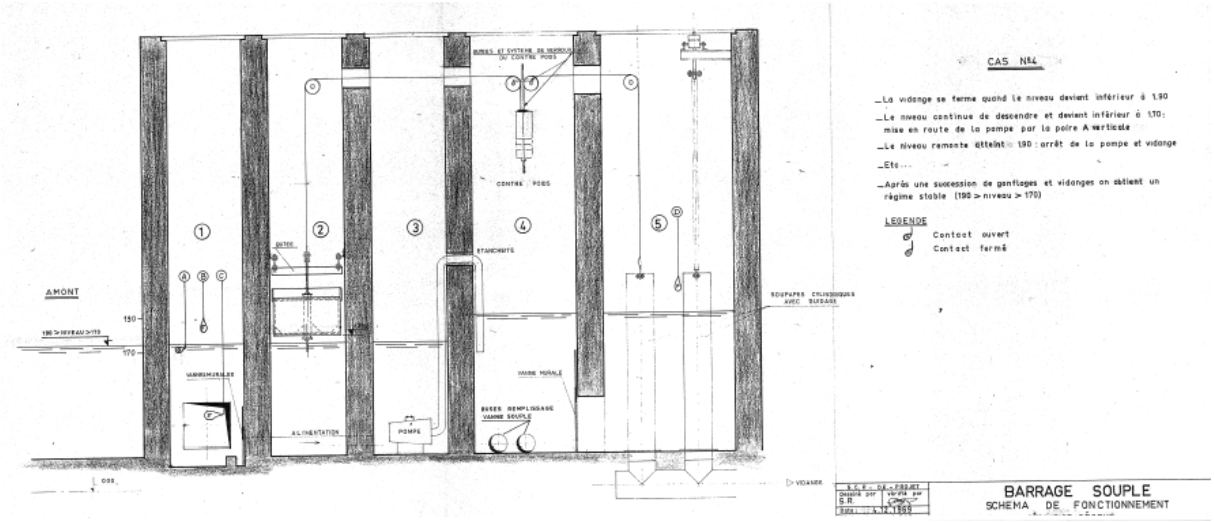
3. Plans

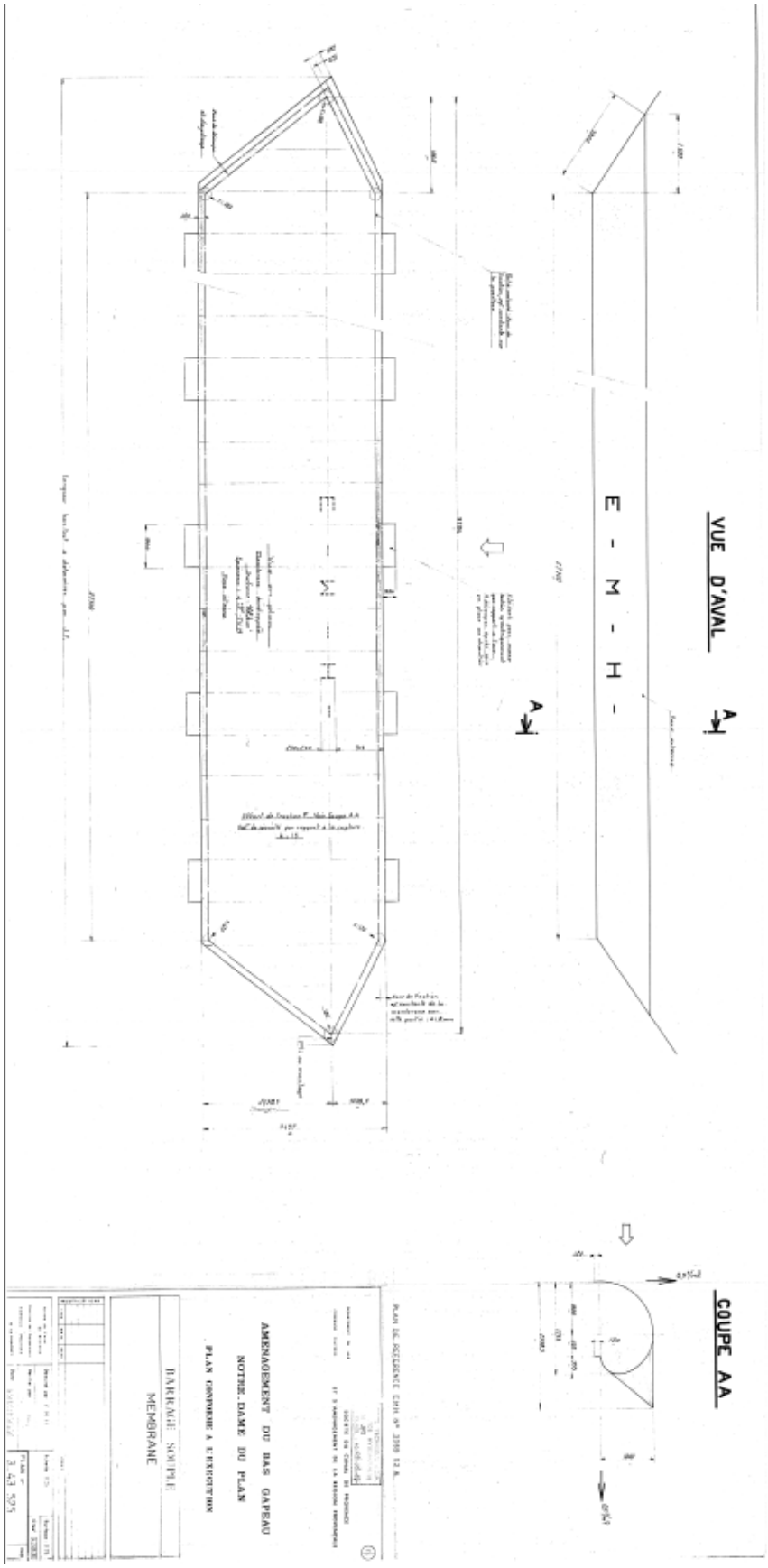

COUPE BB
COUPE AA
VUE EN PLAN
RIVE DROITE
RIVE GAUCHE
GAPEAU
A
B
AMENAGEMENT DU BAS GAPEAU
NOTRE-DAME DU PLAN
PLAN CONFORME A L'EXECUTION
SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENCALE
BARRAGE SOUPLE
AMENAGEMENT GENERAL
Dessiné par : S.J
Vérifié par :
Echelle : 1/100
Surface : 8.93
Date : 02/10/1980
PLAN N° : 43.505
REV : B


AMONT
CONTRE POIDS
ETANCHEITE
SOUPAPES CYLINDRIQUES AVEC BUSEAUX
VANNE MURALE
BUSES REMPLISSAGE VANNE SOUPLE
ALIMENTATION
POMPE
VIDANGE
CAS N° 1
Niveau amont compris entre 0,70 et 1,70
Dans ce cas de fonctionnement seule la poire D commande la mise en route ou l'arrêt de la pompe pour compenser les fuites.
LEGENDE
Contact ouvert
Contact fermé
BARRAGE SOUPLE
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT


AMONT
CONTRE POIDS
ETANCHEITE
SOUPAPES CYLINDRIQUES AVEC BUSEAUX
VANNE MURALE
BUSES REMPLISSAGE VANNE SOUPLE
ALIMENTATION
POMPE
VIDANGE
CAS N° 2
Maintenance du niveau entre 1,70 et 1,90
La pompe est mise en route par A verticale si niveau <1,70
La pompe est arrêtée par B horizontale ou (D horizontale) si niveau >
Vidange partielle si niveau > 1,90, affaissement de la membrane puis re du niveau entre 1,70 et 1,90
LEGENDE
Contact ouvert
Contact fermé
BARRAGE SOUPLE
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT


AMONT
CONTRE POIDS
ETANCHEITE
SOUPAPES CYLINDRIQUES AVEC BUSEAUX
VANNE MURALE
BUSE REMPLISSAGE VANNE SOUPLE
ALIMENTATION
POMPE
VIDANGE
CAS N° 3
— Le niveau monte et reste supérieur à 1.90
La poire B arrête la pompe à 180 – E
Le flotteur actionne la vanne automatique et la maintient ouverte tant que le niveau est supérieur à 1.90
— Si par suite de la vidange le niveau amont devient < à 1,70
Fermeture de la vanne automatique
Mise en route par A verticale. Gonflage. Montée du niveau amont jusqu'à 1,90, vidange etc..
— La membrane s'efface totalement après une succession de vidanges et de gonflages partiels.
LEGENDE
Contact ouvert
Contact fermé
BARRAGE SOUPLE
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT


CAS N°4
_La vidange se ferme quand le niveau devient inférieur à 1,90
_Le niveau continue de descendre et devient inférieur à 1,70 : mise en route de la pompe par la poire A verticale
_Le niveau remonte atteint 1,90 : arrêt de la pompe et vidange
_Etc...
_Après une succession de gonflages et vidanges on obtient un régime stable (1,90 > niveau > 1,70)
LEGENDE
Contact ouvert
Contact fermé
AMONT
1,50
1,70
1,90 > NIVEAU > 1,70
VANNE MORALE
ALIMENTATION
POMPE
BUSES REMPLISSAGE VANNE SOUPLE
VANNE MORALE
ETANCHEITE
CONTRE - POIDS
BUSES ET SYSTEME DE REPOSOIR DU CONTRE POIDS
SOUPAPES CYLINDRIQUES AVEC BUSEAUX
VIDANGE
BARRAGE SOUPLE
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT


VUE D'AVAL
E - M - H -
A
A
COUPE AA
AMENAGEMENT DU BAS GAPEAU
NOTRE-DAME DU PLAN
PLAN GENERAL A L'ENQUETEUR
BARRAGE NOUVEL
MEMBRANE

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Gapeau
Localisation	Hyères (Provence, France)
Date de la visite	01/03/2011
Maître d'Ouvrage	Mairie de Hyères
Procédé	Gonflage à l'eau
Largeur utile	27,5m
Hauteur utile	1,0m
Hauteur de chute	Selon niveau aval
Nombre de passes	1 passe
Cours d'eau :	Gapeau
Débits caractéristiques	
i. Etiage	2m3/s
ii. Moyen	-
iii. Maximum	400m3/s
But de l'ouvrage	Maintien de niveau pour nappe phréatique Protection contre remontées salines Gestion des crues
Année de réalisation	1970 (membrane remplacée en 2002)
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction en lieu et place de l'ancien barrage (seuil fixe)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui, en rive droite
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	-
2- PHASE DE CONSULTATION (pour le renouvellement)	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Consultation pour fourniture
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Membrane fournie par le Joint Français
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui. Dans le cadre d'un marché à bons de commande entre la SCP et l'entreprise BOCCARD
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	2 pour la fourniture de la bouchure
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	2002
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Travaux en période d'étiage, les débits passant par la passe à poissons
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Batardeau du barrage : pieux H + madriers de bois + bâche clouée pour assurer l'étanchéité
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Première mise en service : 1970 Renouvellement de la membrane et des ancrages : 2002
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	23 jours pour le changement de baudruche, batardage compris
Le délais d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Oui, car remplacement très rapide
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	La deuxième baudruche a les mêmes propriétés que la première
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	-
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	-
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	-
ii. Pour quelle durée ?	-
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	-
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	Fourniture membrane : 45k€ Montage membrane : 30k€ Maitrise d'œuvre : 10k€ TOTAL : 85k€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon deux consignes de niveau amont (haute et basse)
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Précision de +/- 10cm, une plus grande précision n'étant pas nécessaire
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Profilés métalliques en H + madriers de bois
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Cas de vandalisme
	Usure du barrage gonflable nécessitant son remplacement (31 ans après sa mise en service)
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, le système de pompage compensait les pertes d'eau
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui

Questions	Réponses
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Réparation sur place par vulcanisation à froid pour le vandalisme
	Remplacement de la baudruche et des fixations pour l'usure du BG
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Oui Coupure EDF engendrant l'arrêt de la pompe (unique) Dépôt de sédiments dans les colonnes de régulation
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage + gestion en amont pour limiter leur nombre
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	- passage hebdomadaire pour le relevé des messages et pour un contrôle visuel 2 fois par an, test manuel de dégonflage/gonflage
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	-
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	-
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Curage des colonnes d'eau de remplissage
	Remplacement baudruche (voir ci-dessus)
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	-
i. Entretien courant – exploitation	Jusqu'à 10 k€ par an avant le remplacement de la baudruche. Depuis, limité aux consommables
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	-
iii. Renouvellement	Voir ci-dessus

Fiche d'ouvrage n°11 : Barrage de Viareggio

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 220

1.1 Description du cours d'eau 220

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 220

1.3 Détail de son fonctionnement 221

1.4 Points technologiques importants 221

1.4.1 Le gonflage 221

1.4.2 Le système de purge 222

1.4.3 Système de sécurité 222

1.5 Fiabilité de la tenue de la cote du bief amont 223

1.6 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 224

1.7 Problèmes de fonctionnement rencontrés 224

1.8 Maintenance 224

1.9 Aspects environnementaux 224

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 225

2.1 Vue satellite 225

2.2 Vues du barrage 226

2.3 Vues de détail 227

2.4 Vues des environs 229

3. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 230

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

Le canal Burlamacca est un cours d'eau qui relie le lac Massaciuccoli à la mer Méditerranée.

Le but du barrage est de protéger le lac et l'agriculture environnante des remontées salines et d'empêcher les algues toxiques qui se développent en été dans le lac de descendre vers la mer et d'envahir les plages.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

- $Q_{étiage}$ = 2m3/s
- Q_{moyen} = 40m3/s
- Q_{100} = 60m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en octobre 2009. Il est constitué d'1 passe de 9,81m de large et de 1,8m de haut. La bouchure est constituée d'une unique baudruche et d'un unique clapet en acier inoxydable. Le clapet mesure 2,98m de haut, au lieu de 2m, suite à une mauvaise estimation de la cote de fond de la rivière. En position haute le clapet n'est incliné qu'à 40° au lieu des 65° prévus initialement pour ce type de technologie. Cette position est maintenue au moyen de bandes de caoutchouc reliées au radier et permettent d'éviter au clapet de basculer vers l'amont.

Les bajoyers sont verticaux et ont été équipés au droit de la surface de contact avec le volet métallique d'une plaque en acier inoxydable de 3mm d'épaisseur. Le volet est quant à lui équipé d'un joint en caoutchouc.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne selon la concentration en sel dans l'eau. La mesure se fait à 2 niveaux, à 0,3m et 0,6m de hauteur. Lorsque la concentration mesurée sur le capteur bas puis haut (l'eau salée est plus lourde que l'eau douce) dépasse une valeur de consigne, le barrage se gonfle pour se positionner à 0,5m ou 1m. Une troisième position à 1,5m de haut permet le blocage des algues toxiques qui descendent vers la mer durant l'été.

La pression interne est mesurée afin de contrôler le niveau de la baudruche. La pression interne pour une baudruche complètement gonflée (1,8m) s'élève à 400 millibars.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le gonflage se fait à l'air au moyen de deux compresseurs qui fonctionnent de manière alternative de sorte à ne pas solliciter toujours le même compresseur lors des manœuvres. De plus, cela permet de disposer d'un système de manœuvre de secours.

Une seule canalisation est nécessaire pour gonfler ou dégonfler la baudruche.

Le temps de gonflage est de l'ordre de 20 minutes, le temps de dégonflage de 7 minutes.

1.4.2 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger les eaux de condensation présentes dans la baudruche et son système d'alimentation.

1.4.3 Système de sécurité

Une prise du niveau amont permet de remplir un jerrican et de faire contrepoids pour vidanger la baudruche en cas de montée importante du plan d'eau.

Enfin un système de soupape engendre également la vidange de la baudruche en cas de montée en pression non contrôlée.

1.5 Fiabilité de la tenue de la cote du bief amont

La régulation fine du bief n'est pas une volonté du Maître d'Ouvrage, mais il y a un souhait que le barrage ne provoque pas une trop grande montée des eaux. C'est pourquoi toute la sécurité est tournée vers l'abaissement de la baudruche en cas de problème. C'est cela même qui a poussé le Maître d'Ouvrage à choisir cette solution.

Par contre, il y a une exigence à ce que le barrage tienne la position qui lui a été demandée. Un test était en cours lors de notre visite. Une crevaison a volontairement été provoquée pour que le système réagisse à une perte de pression accidentelle. Ainsi lorsque le barrage descend en dessous de 3cm par rapport à sa position, le compresseur se met en fonctionnement pour redonner au barrage la bonne position.

Bulles dues à la crevaison

1.6 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) et l'ensemble des données (pressions interne, démarrage des compresseurs, concentration en sel,…) sont transmises directement par télégestion au centre régional qui exploite le barrage. Le barrage peut même être contrôlé depuis ce centre.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage.

1.7 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Aucun problème rencontré.

1.8 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et la maintenance du barrage. Celui-ci passe une fois tous les quatre mois pour effectuer les purges et gonfler/dégonfler complètement la baudruche.

Il est également prévu de mettre en place une inspection plus détaillée, selon une période de retour à fixer avec le Maître d'Ouvrage, pour mettre à sec le barrage et pouvoir l'ausculter de manière plus détaillée.

1.9 Aspects environnementaux

Le Maître d'Ouvrage souhaitait un ouvrage discret, sans passerelle, avec un petit local et sans équipement attirant le regard, du fait de la présence de la ville à proximité.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail

2.4 Vues des environs

3. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Viareggio
Localisation	Viareggio (Toscane, Italie)
Date de la visite	24/02/2011
Maître d'Ouvrage	Région Toscane
Procédé	BGVM (Hydro Air Bank)
Largeur utile	9,81m
Hauteur utile	1,8m
Hauteur de chute	Variable selon niveau aval, mais faible
Nombre de passes	1
Cours d'eau	Burlamacca
Débits caractéristiques	
i. Etiage	2m3/s
ii. Moyen	40m3/s
iii. Maximum	60m3/s
But de l'ouvrage	Protection contre remontées salines et descentes d'algues toxiques
Année de réalisation	2009
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre restreint
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Une solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Oui
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Hydro Air Bank
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	5
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Août 2009
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Période de réalisation estivale. Batardage du canal en amont et en aval et pompage des débits
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Palplanches + merlons de terre
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales

Questions	Réponses
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Octobre 2009
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	2 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Test de position selon le degré de salinité fictive (capteur)
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui.
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Par le fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	2 ans pour tous les composants du barrage, GC exclu
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	300k€
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	200k€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Consigne de protection selon 3 paliers en fonction des concentrations en sel et de la période de descente des algues toxiques
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Pas vraiment de régulation, mais tenue d'une cote de protection à +0cm/- 3cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Réservations pour rainures à batardeau présentes dans le GC, porte métallique mise en place par une grue
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue, car la sécurité est portée sur l'abaissement du barrage
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Non
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Passage par-dessus, mais pas d'embâcle important
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	1x/4 mois : les canalisations sont purgées des eaux de condensation, la passe est gonflée, puis dégonflée complètement
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Maintenance minimale Pas de pollution Bas coûts d'exploitation Section mouillée entièrement conservée Réglage de la hauteur du volet extrêmement fin
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Sujet au vandalisme
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Aucun pour le moment
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	Inexistant pour le moment
i. Entretien courant – exploitation	Inexistant pour le moment
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	Inexistant pour le moment
iii. Renouvellement	Inexistant pour le moment

Fiche d'ouvrage n°12 : Barrage de Pistoia

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 234

1.1 Description du cours d'eau 234

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 234

1.3 Détail de son fonctionnement 235

1.4 Points technologiques importants 236

1.4.1 Le gonflage 236

1.4.2 Système de sécurité 237

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 237

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 237

1.7 Maintenance 237

1.8 Aspects environnementaux 237

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 238

2.1 Vues du barrage 238

2.2 Vues des environs 240

3. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 241

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Ombrone est un cours d'eau dont les berges ont été rehaussées par des digues pour limiter les débordements en cas de crue. Au droit de ces digues, un seuil béton avait été réalisé pour créer des champs d'expansion et limiter les conséquences en aval. En cas de dégâts engendrés sur les agricultures situées au droit de ces champs d'expansion, l'état italien devait verser des dédommagements aux agriculteurs, il a donc été décidé de limiter le débordement des petites crues tout en redonnant au seuil sa surface mouillée originelle en cas de crue plus importante, d'où la volonté de mettre en place un système mobile.

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en été 2010 au droit d'un ancien seuil. L'aval du seuil a légèrement été repris pour mieux guider les eaux en cas de déversement. Il est constitué d'1 passe de 24m de large et de 0,8m de haut. La bouchure est constituée d'une unique baudruche de 40cm de haut et d'un clapet en aluminium. Le clapet est en réalité composé de 8 volets métalliques de 3m de long et 0,98m de large, tous liés les uns aux autres au moyen d'un joint en caoutchouc.

Les bajoyers sont verticaux et ont été traités au droit de la surface de contact avec le volet métallique au moyen d'un béton fin. L'étanchéité au droit du clapet est assurée par une bande de caoutchouc.

1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne selon le niveau de la rivière Ombrone. Dès que celui-ci atteint une cote 1m en dessous de la cote du seuil, le barrage se gonfle totalement pour assurer la protection contre les crues. Dès que la hauteur sur le seuil atteint 0,6m, soit 0,2m sous la cote supérieure du clapet, le barrage se dégonfle totalement pour redonner au seuil une section mouillée plus importante.

La pression interne est mesurée afin de contrôler le niveau de la baudruche. La pression interne pour une baudruche complètement gonflée s'élève à 235 millibars. La baudruche s'affaisse assez facilement sous une pression locale, par contre le clapet est insensible aux sollicitations du fait de la répartition des charges.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le gonflage se fait à l'air au moyen de deux compresseurs qui fonctionnent de manière alternative de sorte à ne pas solliciter toujours le même compresseur lors des manœuvres. De plus, cela permet de disposer d'un système de manœuvre de secours. L'alimentation se fait par deux panneaux solaires positionnés sur le local de contrôle/commande.

Une seule canalisation est nécessaire pour gonfler ou dégonfler la baudruche.

Le temps de gonflage est de l'ordre de 15 minutes, celui du dégonflage est de l'ordre de 10 minutes (pour un barrage au sec).

1.4.2 Système de sécurité

Une prise du niveau amont permet de remplir un jerrican et de faire contrepoids pour vidanger la baudruche en cas de montée importante du plan d'eau n'ayant pas entraîné le dégonflage du barrage.

Enfin un système de soupape engendre également la vidange de la baudruche en cas de montée en pression non contrôlée.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage fonctionne en automatique et peut être basculé en mode manuel.

De plus, toute alerte (intrusion, perte de pression,…) et l'ensemble des données (pressions interne, démarrage des compresseurs,…) sont transmises directement par télégestion au centre régional qui exploite le barrage. Le barrage peut même être contrôlé depuis ce centre.

Cet ouvrage amène la pleine satisfaction du Maître d'Ouvrage.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Aucun problème rencontré mis à part un acte de vandalisme sur le panneau solaire. Depuis, une grille et une caméra ont été mises en place pour mieux protéger le local.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et de la maintenance du barrage. Celui-ci passe une fois tous les quatre mois pour une inspection visuelle et pour gonfler/dégonfler complètement la baudruche.

1.8 Aspects environnementaux

Le Maître d'Ouvrage voulait un ouvrage discret, sans passerelle, avec un petit local et sans équipement attirant le regard, du fait du contexte dans lequel l'ouvrage a été réalisé.

2. Rapport Photographique

2.1 Vues du barrage

2.2 Vues des environs

3. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Pistoia
Localisation	Pistoia (Toscane, Italie)
Date de la visite	25/02/2011
Maître d'Ouvrage	Région Toscane
Procédé	BGVM (Hydro Air Bank)
Largeur utile	24m
Hauteur utile	0,8m
Hauteur de chute	Nulle car le barrage est effacé en cas de surverse (fonctionnement tout ou rien)
Nombre de passes	1
Cours d'eau	Ombrone
Débits caractéristiques	
i. Etiage	-
ii. Moyen	-
iii. Maximum	-
But de l'ouvrage	Protection contre les crues
Année de réalisation	2010
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction sur ancien seuil
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique, mais panneaux solaires alimentant le barrage
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Hydro Air Bank
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	4 offres reçues
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non, mais l'exigence de référence oui
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Juillet 2010
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation en période estivale
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Pas nécessaire
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Août 2010

Questions	Réponses
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	1 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	-
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Test de levage et effacement du barrage pour des niveaux d'eau fictifs
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	Baudruche et volet métallique : 10 ans Panneau photovoltaïque : 20 ans Autres composants : 2 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Aucune
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	200k€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Consigne de protection pour une cote de la rivière légèrement en dessous de la cote du seuil. Abaissement complet du barrage lorsque la hauteur d'eau est de 0,6m au dessus du seuil, soit 0,2m en dessous des clapets
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Pas de régulation
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Non prévu
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels ?	Vandalisme sur le panneau solaire
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Passage par-dessus.
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	1x/4 mois : inspection visuelle et manœuvre du clapet
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Maintenance minimale Pas de pollution Bas coûts d'exploitation Protection contre le vandalisme pour un barrage « sec » Section mouillée entièrement conservée Réglage de la hauteur du volet extrêmement fin
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Aucun
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Aucun pour le moment
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	Inexistant pour le moment
i. Entretien courant – exploitation	Inexistant pour le moment
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	Inexistant pour le moment
iii. Renouvellement	Inexistant pour le moment

Fiche d'ouvrage n°13 : Barrage de Majdicev Log

1. COMPTE-RENDU DE VISITE 244

1.1 Description du cours d'eau 244

1.2 Description synthétique de l'ouvrage 244

1.3 Détail de son fonctionnement 246

1.4 Points technologiques importants 247

1.4.1 Le gonflage 247

1.4.2 Local 247

1.4.3 Le système de purge 247

1.4.4 Sécurité 248

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage 248

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés 248

1.7 Maintenance 248

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 249

2.1 Vue satellite 249

2.2 Vues du barrage 250

2.3 Vues de détail 251

2.4 Vues des environs 252

2.4.1 Amont 252

2.4.2 Aval 253

3. PLANS 254

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 257

1. Compte-rendu de visite

1.1 Description du cours d'eau

La rivière Sava est un cours d'eau régulé par de nombreux barrages associés le plus souvent à une centrale hydroélectrique.

Le but du barrage est de maintenir le niveau du plan d'eau pour permettre le turbinage de la centrale hydroélectrique de Kranj située plus en aval.

Le barrage de Majdicev Log a été implanté latéralement au cours d'eau. Le bief à l'aval au barrage rejoint celui de la centrale.

Ses débits caractéristiques sont les suivants :

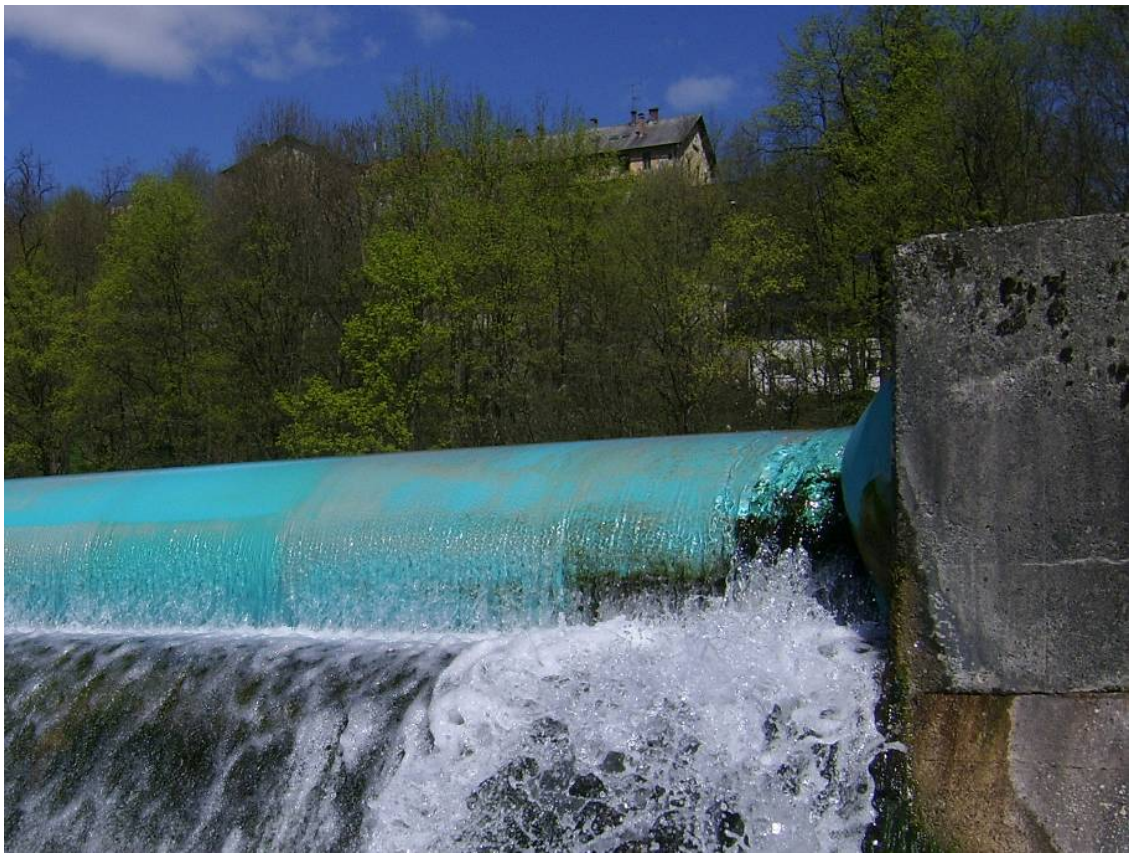
- $Q_{étiage}$ = 48m3/s
- Q_{moyen} = 74m3/s
- Q_{100} = 118m3/s

1.2 Description synthétique de l'ouvrage

Le barrage a été construit en 1977 en lieu et place d'un ancien barrage à aiguilles. Ce barrage était initialement équipé de membranes Rubena mais du fait d'un manque de résistance de ces membranes, elles ont été remplacées en 1981. Depuis, 4 des 5 membranes ont à nouveau été remplacées entre 2005 et 2010 en raison de phénomènes d'abrasion du fait de la faible épaisseur de la membrane (4mm contre 6mm pour les nouvelles).

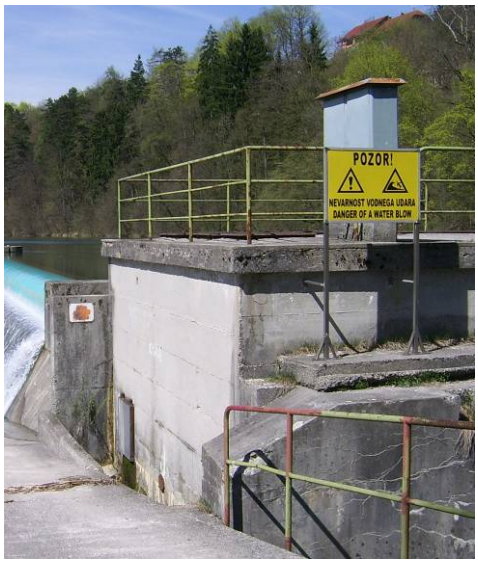
Le barrage est constitué de 5 passes de 50m de long et 1,1m de haut.

Les bajoyers des culées sont verticaux, ceux des piles sont inclinés selon une pente de 1H/1V.



Le radier présente une chute avec le niveau du lit aval.

Enfin, le barrage est manœuvré au moyen de plusieurs colonnes d'eau en rive gauche.



1.3 Détail de son fonctionnement

Le barrage fonctionne en manuel selon l'appréciation de l'exploitant de la centrale qui à l'aide d'une caméra juge le niveau d'eau.

Pour les débits inférieurs à 34 m3/s, c'est la centrale hydroélectrique qui régule le cours d'eau. En cas de débit plus important, les baudruches prennent le relais. Les baudruches sont manœuvrées de manière homogène ou séparée grâce à un jeu de colonnes de régulation.

A noter également la présence de deux petits seuils fixes calés plus haut que l'arase des baudruches, aux deux extrémités, ainsi qu'une vanne wagon, et qui permettent d'augmenter la capacité de débitance du barrage en cas de crue.

La précision de régulation annoncée par le fournisseur est de +/- 2cm pour un système qui serait muni d'un automatisme. Mais par manque d'investissement de la part du propriétaire de la centrale, cette dernière est plus qu'aléatoire.

1.4 Points technologiques importants

1.4.1 Le gonflage

Le remplissage se fait au moyen de plusieurs colonnes d'eau. Une colonne est reliée au plan d'eau amont et amène les eaux par pompage à la colonne de remplissage. Une colonne permet la régulation. Enfin la dernière colonne est munie d'un exutoire permettant de vidanger les baudruches.

La hauteur d'eau de fonctionnement du barrage est de 1,4m.

Le temps de gonflage et de dégonflage est de 2 heures.

1.4.2 Local

Le local se situe au sein de la centrale hydroélectrique.

1.4.3 Le système de purge

Un système de purge permet de vidanger l'air emprisonné dans la baudruche. Cet air peut poser des soucis pour la régulation et peut être responsable de phénomènes vibratoires puisqu'il va se loger en partie supérieure de la baudruche, en contact immédiat avec la lame déversante. Le système de purge consiste en un bouchon situé en partie haute de la baudruche. L'exploitant l'ouvre une à deux fois par an.

1.4.4 Sécurité

Un système de sécurité permet de limiter la hauteur d'eau dans les colonnes de régulation en cas de fonctionnement bloqué des pompes de relevage des eaux.

En cas d'atteinte d'une certaine hauteur d'eau amont sans réaction de la baudruche, la gestion de la régulation est effectuée par l'équipe d'exploitation de la centrale dont la présence est assurée 24h sur 24h.

1.5 Évaluation du barrage au regard des attentes du maître d'ouvrage

Ce barrage remplit la fonction demandée par le propriétaire à savoir rehausser le niveau d'eau pour la centrale et gérer les crues qui ne sont pas très importantes pour ce cours d'eau. Tout est géré par l'exploitant qui commande manuellement le barrage depuis la centrale par contrôle caméra.

1.6 Problèmes de fonctionnement rencontrés

Ce barrage a fait l'objet d'un premier remplacement suite à un sous-dimensionnement. Le second remplacement intervient après 25 à 30 ans de vie pour les membranes qui commençaient à se craqueler.

Le barrage a connu un cas de vandalisme au couteau qui a été réparé sur place par mise à sec de la baudruche. Par contre, le passage de petits enrochements et troncs d'arbre est assez fréquent sans que cela n'ait créé le moindre désordre.

1.7 Maintenance

Un agent est en charge de l'exploitation et de la maintenance du barrage.

2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite

Barrage de Majdicev Log

Centrale hydroélectrique

2.2 Vues du barrage

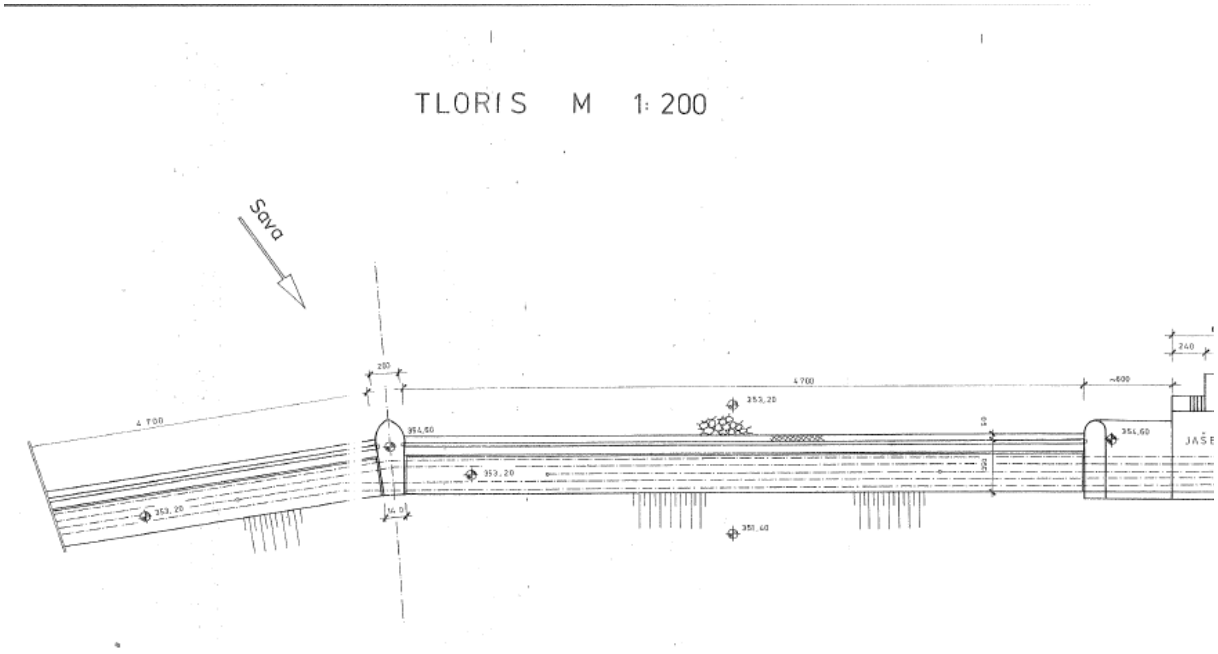
2.3 Vues de détail

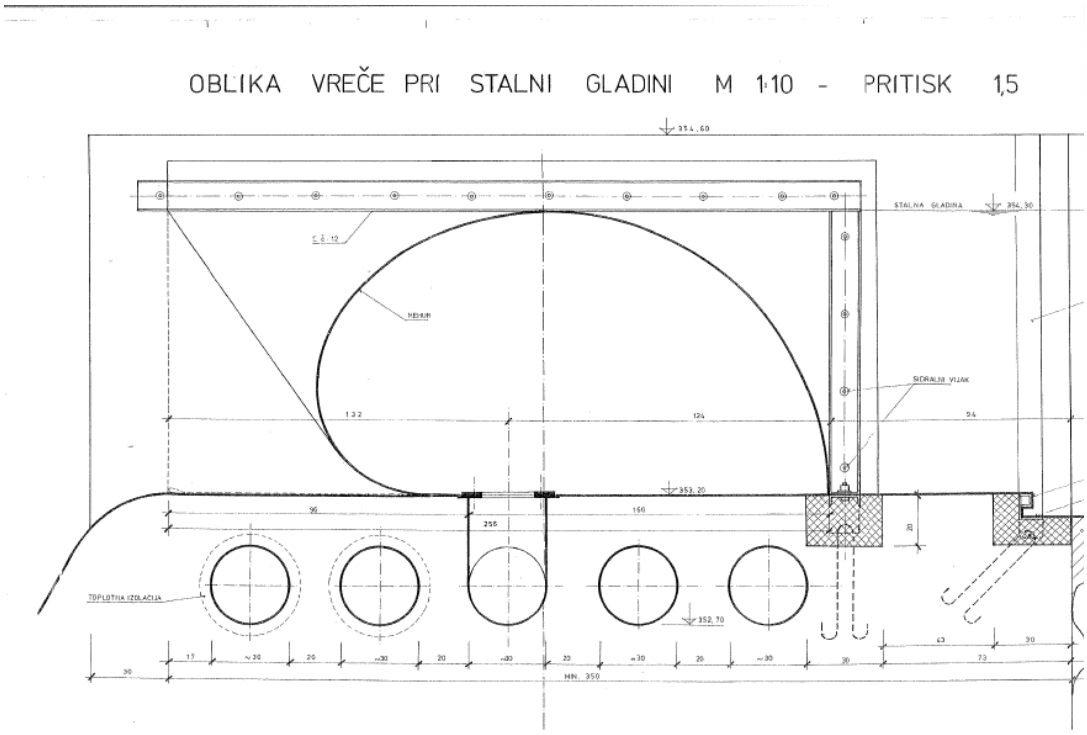
2.4 Vues des environs

2.4.1 Amont

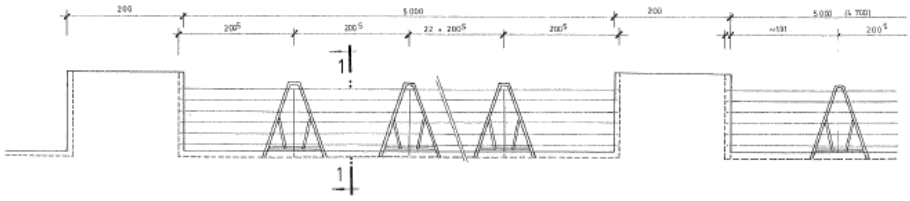
2.4.2 Aval

3. Plans

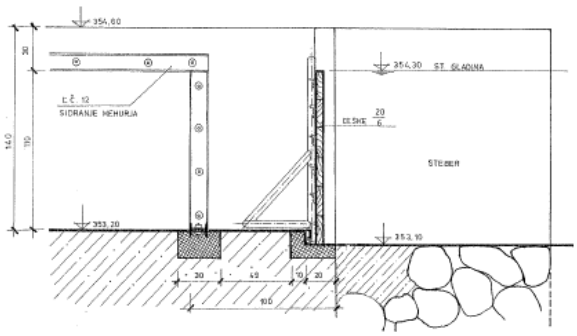

TLORIS M 1: 200
Sava
4 700
280
4 700
~600
240
354,60
353,20
351,60
JAŠE


OBLIKA VREČE PRI STALNI GLADINI M 1:10 - PRITISK 1,5
354,60
STALNA GLADINA
354,30
HEBAR
SIDRALNI VIJAK
132
124
94
353,20
98
256
160
TOPLOTNA IZOLACIJA
352,70
MIN. 350

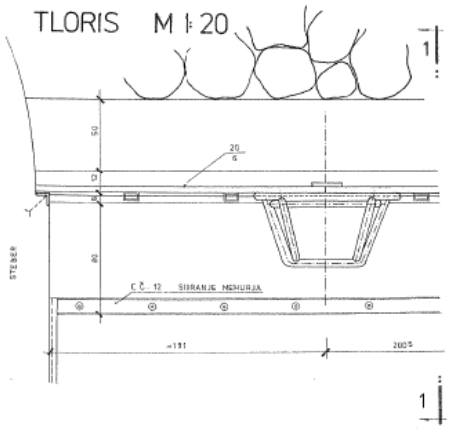
SHEMA PROVIZ. ZAGATNJE M 1:50



REZ 1-1 M 1:20

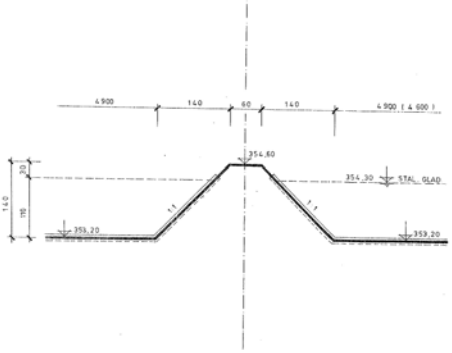


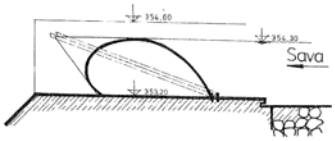
TLORIS M 1:20



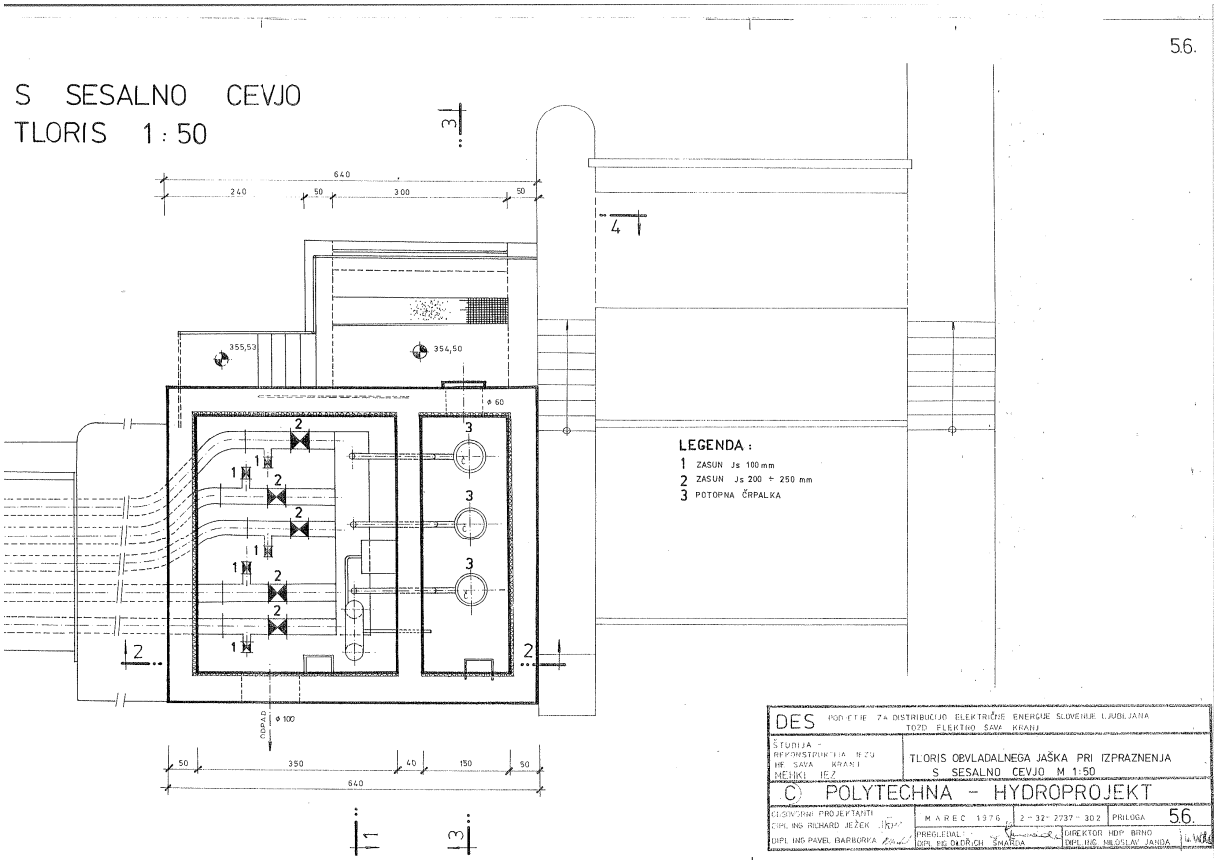
5.4.

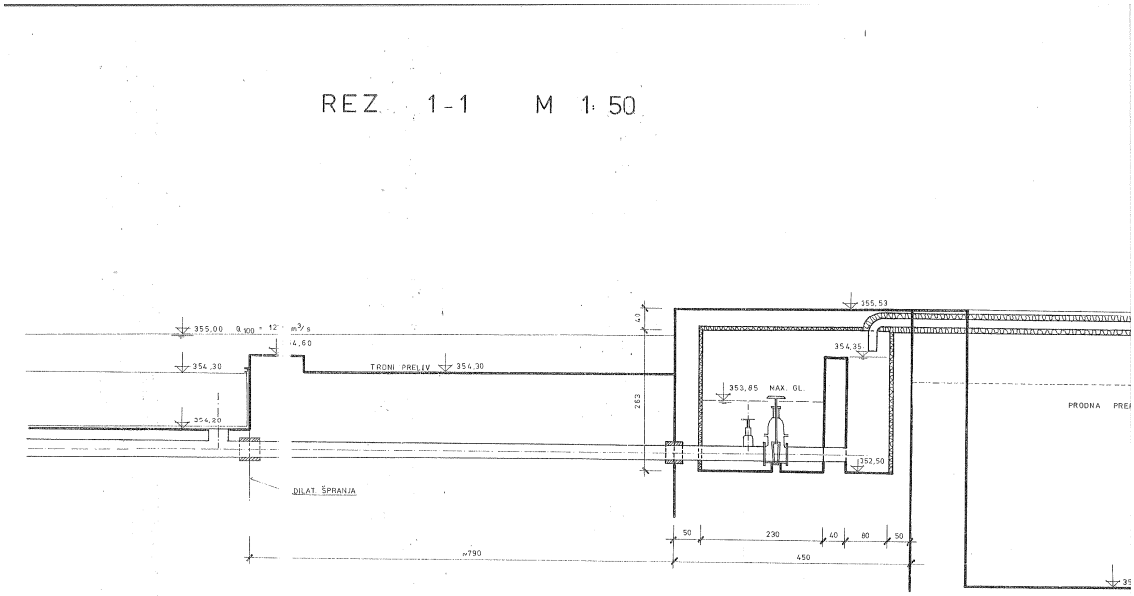
REZ STEBROM M 1:50





DES	PODJETJE ZA DISTRIBUCIJO ELEKTRIČNE ENERGIJE SLOVENIJE LJUBLJANA TOZD ELEKTRO SAVA KRANJ	
ŠTUDIJA - HIDROTEHNIČNA REŽIM NE SAVA KRANJ MEHKI JEZ	TRAPEZOIDALNE PRELIVNE POLJE, M 1:200 TLORIS IN REZE PRVEGA POLJA M 1:50	
C/ POLYTECHNA - HYDROPROJEKT		
VODJA PROJEKTANTA: DIPL. ING. RICARD JEŽEK	MAREC 1976	2-32-2737-202 PRILOGA 5.4.


5.6.
S SESALNO CEVJO
TLORIS 1 : 50
640
240
50
300
50
355,53
354,50
ø 60
LEGENDA :
1 ZASUN Js 100 mm
2 ZASUN Js 200 ÷ 250 mm
3 POTOPNA ČRPALKA
ODPAD
ø 100
50
350
40
150
50
640
DES PODJETJE ZA DISTRIBUCIJO ELEKTRIČNE ENERGIJE SLOVENIJE LJUBLJANA
TOZD ELEKTRO SAVA KRANJ
TLORIS OBVLADALNEGA JAŠKA PRI IZPRAZNENJA
S SESALNO CEVJO M 1:50
© POLYTECHNA - HYDROPROJEKT
MAREC 1976
2-32-2737-302
PRILOGA 5.6.
DIPL. ING. RICHARD JEŽEK
DIPL. ING. PAVEL BARBORIČ
PREGLEDAL: DIPL. EG. DIDRICH ŠNARTA
DIREKTOR HDP BRNO DIPL. ING. MILOSLAV JANDA


REZ 1-1 M 1: 50
355,00
Q 100 = 12 m³/s
4,60
354,30
354,20
TRONI PRELIV
354,30
DILAT. ŠPRANJA
40
263
355,53
354,35
353,85
MAX. GL
352,50
PRODNA PREL
50
230
40
80
50
450
790

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Majdicev Log
Localisation	Kranj (Slovénie)
Date de la visite	06/04/2011
Maître d'Ouvrage	Gorenjske elektrarne d.o.o.
Procédé	Gonflage à l'eau
Largeur utile	250m
Hauteur utile	1,1 m
Hauteur de chute	Hauteur du barrage
Nombre de passes	5 passes de 50m
Cours d'eau	Sava
Débits caractéristiques	
i. Etiage	48m3/s
ii. Moyen	74m3/s
iii. Maximum	118m3/s
But de l'ouvrage	Production hydroélectrique
Année de réalisation	1977 (membrane remplacée en 1981, puis entre 2005 et 2010)
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf ?	Reconstruction en lieu et place de l'ancien barrage (barrage à aiguilles bois)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Centrale hydroélectrique publique en aval du barrage régulant les débits inférieurs à 34m3/s (Pmax=1,697MW)
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Oui
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, par Rubena en 1977 et par Savatech pour les remplacements de 1981, 2005 à 2010 ➔ voir chapitre 1.2 « Description synthétique de l'ouvrage »
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	-
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Non

Questions	Réponses
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	1977 (membrane remplacée en 1981, puis entre 2005 et 2010➔voir chapitre 1.2 « Description synthétique de l'ouvrage »)
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Pour le remplacement des membranes, 1 passe par an environ ➔ transit du débit par les autres passes
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Panneaux de bois
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Non
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	-
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	4 semaines
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	-
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Oui
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Des tests ont été effectués en laboratoire
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Par le fournisseur
ii. Pour quelle durée ?	2 ans
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Vandalisme et évènements exceptionnels
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	50k€ pour chaque membrane
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau?	Pas de réelle régulation du fait d'un manque d'investissement. Cote tenue selon l'appréciation de l'exploitant (camera)
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	Cf. question précédente
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Eléments de bois (système archaïque)
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Non prévue : éventuel batardage de maintenance (mode dégradé)
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Oui
Si oui, lesquels	Un cas de vandalisme
	Usure par abrasion des membranes après 25 à 30 ans de bon fonctionnement
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	Non, le système de pompage compensait les pertes d'eau
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	Oui
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	Batardage, vidange de la baudruche, réparation ou remplacement de la membrane
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Les embâcles passent sur le barrage ou sont collectés par un système de barrière au droit du chenal d'amenée des eaux à la centrale

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Pas réellement, inspection visuelle par caméra
i. A quelle fréquence ?	-
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Prix faibles Pas de maintenance Régulation précise si investissement minimum
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	Vandalisme
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Curage des colonnes d'eau de remplissage Remplacement de 4 des 5 membranes (mauvais choix au départ)
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	Aucun
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	Aucun
iii. Renouvellement	50k€ par membrane remplacée (chapitre 1.2 « Description synthétique de l'ouvrage »))

Fiche d'ouvrage n°14 : Barrage d'Auxonne

1. ENSEIGNEMENTS / INFORMATIONS RETENUS 262

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 263

2.1 Vue satellite (ancien barrage) 263

2.2 Vues du barrage lors de la construction 264

3. PLANS 272

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 274

1. Enseignements / Informations retenus

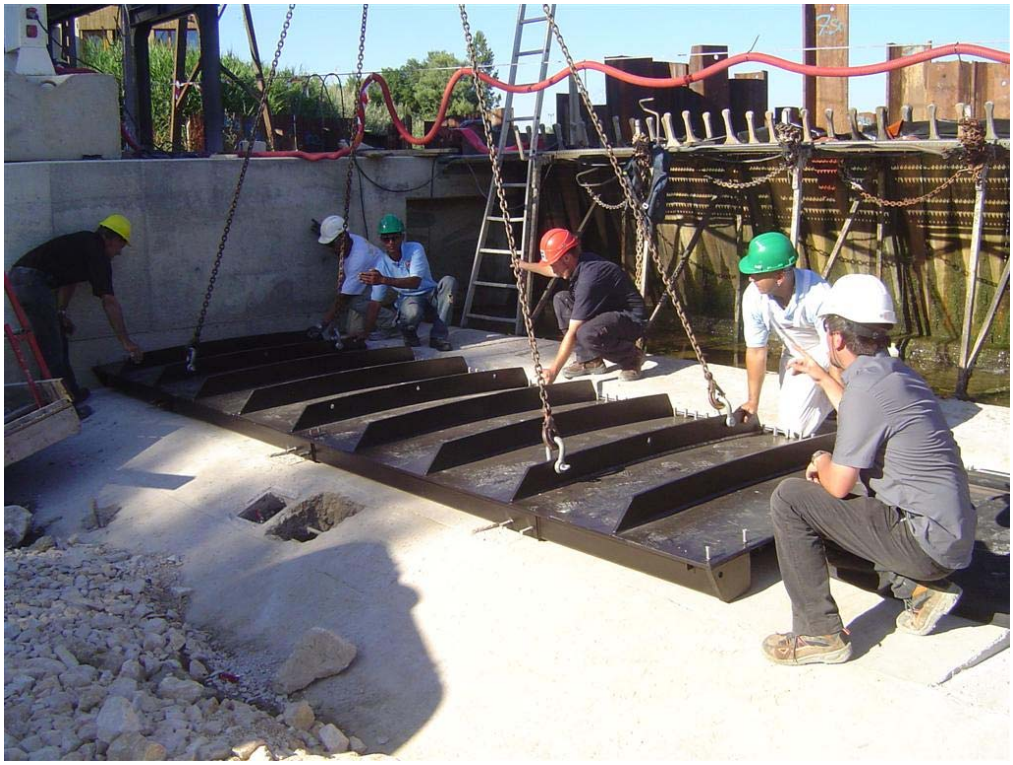
Les principaux enseignements et informations retenus sont les suivantes :

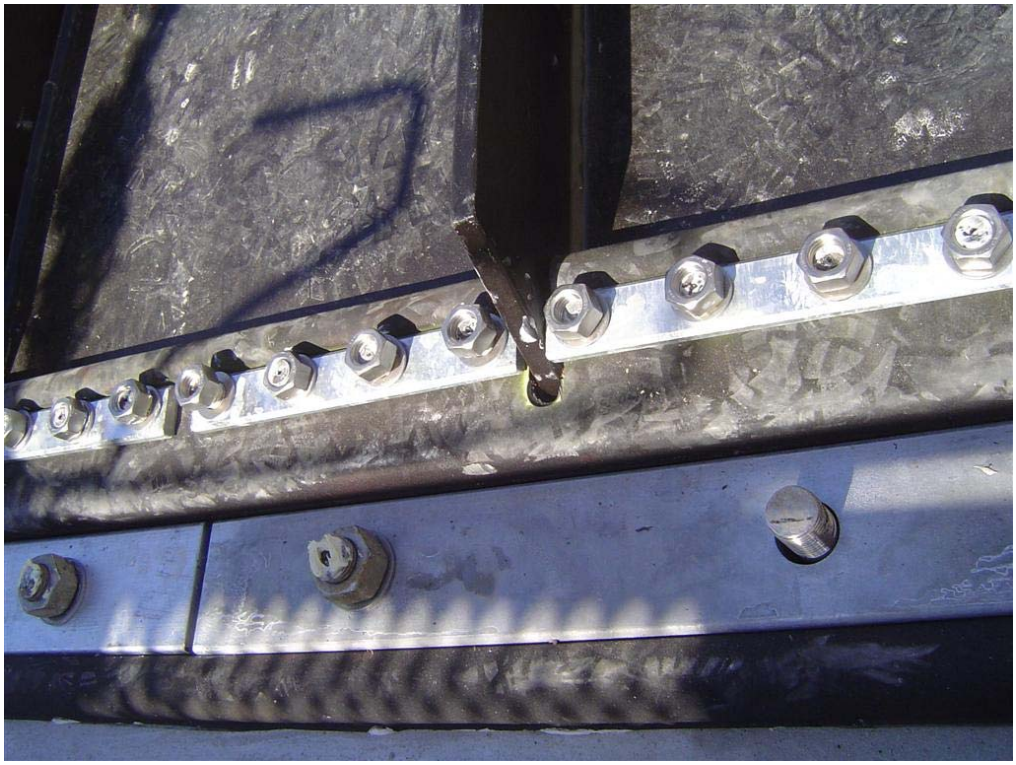
- Standardisation et modularité du système BGVM : les 4 passes sont composées chacune de 9 modules identiques en tous points (8 pour celle de 46,5m)
- Les volets métalliques ont été réalisés par l'entreprise afin de limiter le coût de la bouchure. Seuls les coussins et ancrages ont été fournis par Obermeyer. La mise en place de l'ensemble du module a été effectuée par l'entreprise de travaux, Dyrhoff assurant la supervision. Le système de contrôle/commande a été sous-traité par Dyrhoff à une entreprise française.
- Le système d'ancrage mis en place n'est pas le système faisant l'objet du brevet Obermeyer. Il se constitue d'une plaque en acier vissée à travers l'extrémité amont du coussin gonflable sur laquelle est fixé le volet métallique.
- L'étanchéité inter-volet est assurée par la mise en place d'un joint en caoutchouc armé (Hypalon), fixé à chaque extrémité de volet (espace inter-volet de 4cm).
- L'étanchéité au contact volet-culée est assurée par la mise en place d'un joint en caoutchouc armé (Hypalon), fixé à l'extrémité du volet. Afin d'assurer le contact au bajoyer, une couche de résine époxy a été mise en place sur la surface de béton.
- Le joint ne résistant pas à l'effacement accidentel d'un des coussins (crevaison, défaut,…), une poutre carrée métallique a été fixée sur chaque extrémité haute de volet pour renforcer sa résistance à la torsion et un morceau de câble en acier traversant deux volets côte à côte a été fixé à chaque extrémité de poutre. Ainsi en cas d'effacement accidentel d'un coussin, le volet est soutenu par les deux volets voisins grâce au câble. En cas d'effacement de deux coussins voisins, le câble est dimensionné pour se rompre.
- La pression de fonctionnement normale du barrage est de l'ordre de 0,4bars.
- La pression de gonflage maximale est de 1,0bar.
- Les passes sont indépendantes en terme de manœuvrabilité. Les coussins d'une même passe sont alimentés/vidangés par une même tuyauterie. Dans le cas d'un affaissement accidentel d'un des modules, le module en question peut être isolé du reste du circuit. Cela s'effectue au moyen d'un clapet anti-retour présent au droit de chaque connexion entre un coussin et la tuyauterie.
- Les compresseurs ne fonctionnent jamais ensemble. Si un des compresseurs est en défaut, le système bascule automatiquement sur l'autre. Si les deux compresseurs sont en défaut, deux cuves de 3000 litres permettent de prendre le relais en attendant la disparition des défauts et le retour à la normale des compresseurs.

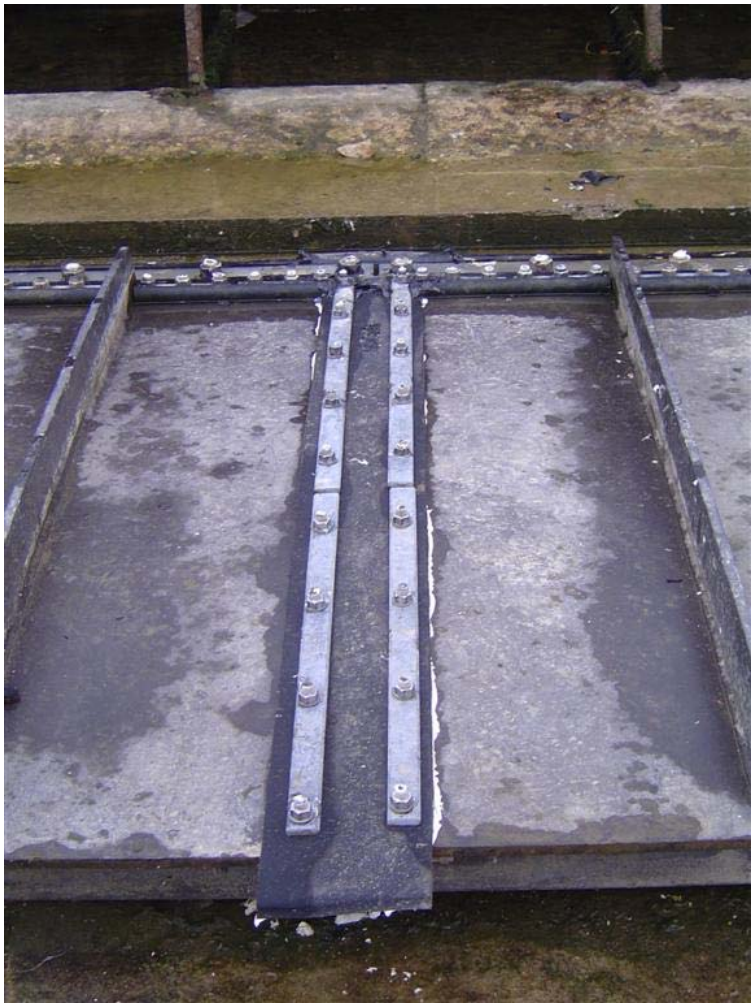
2. Rapport Photographique

2.1 Vue satellite (ancien barrage)

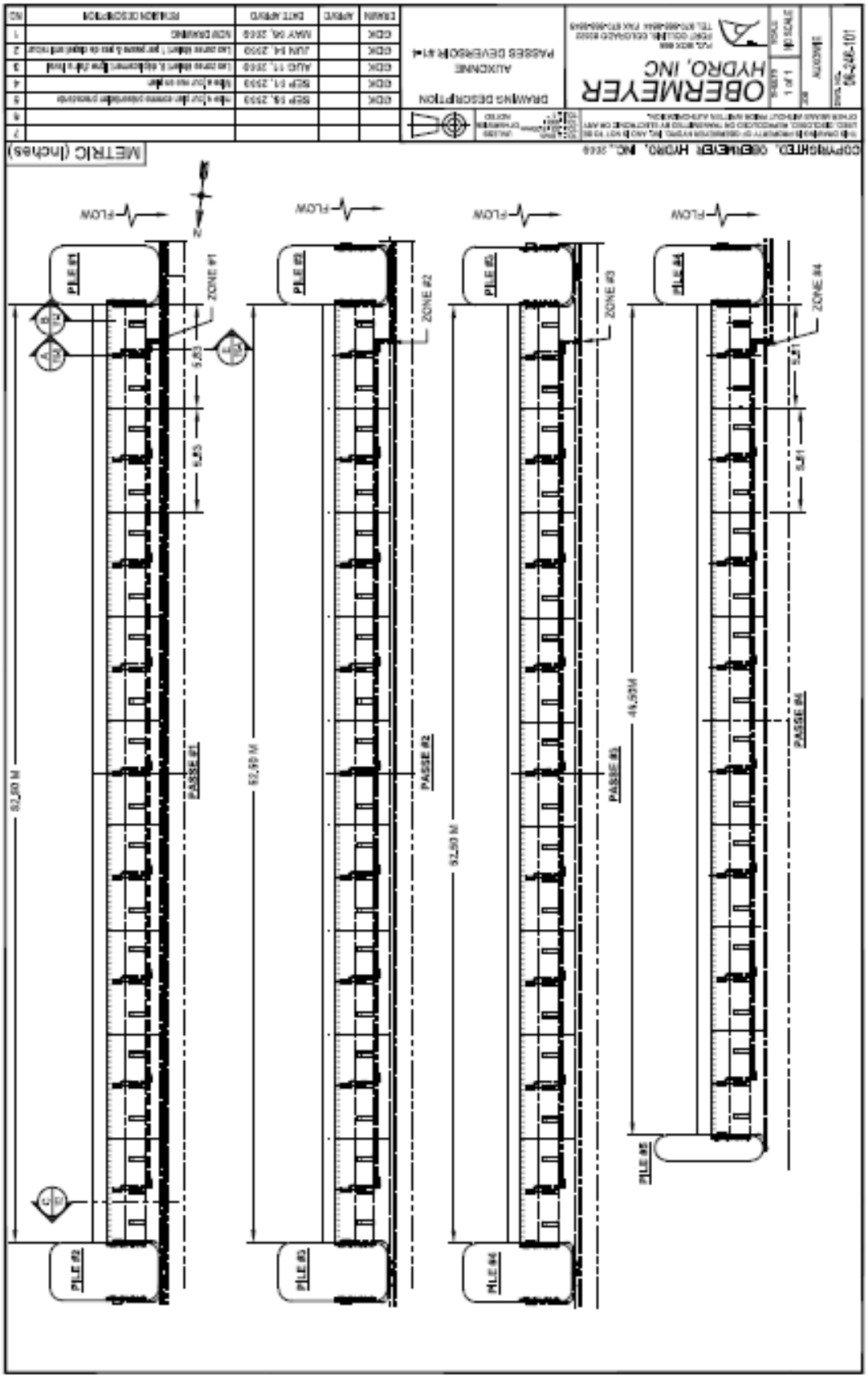
2.2 Vues du barrage lors de la construction

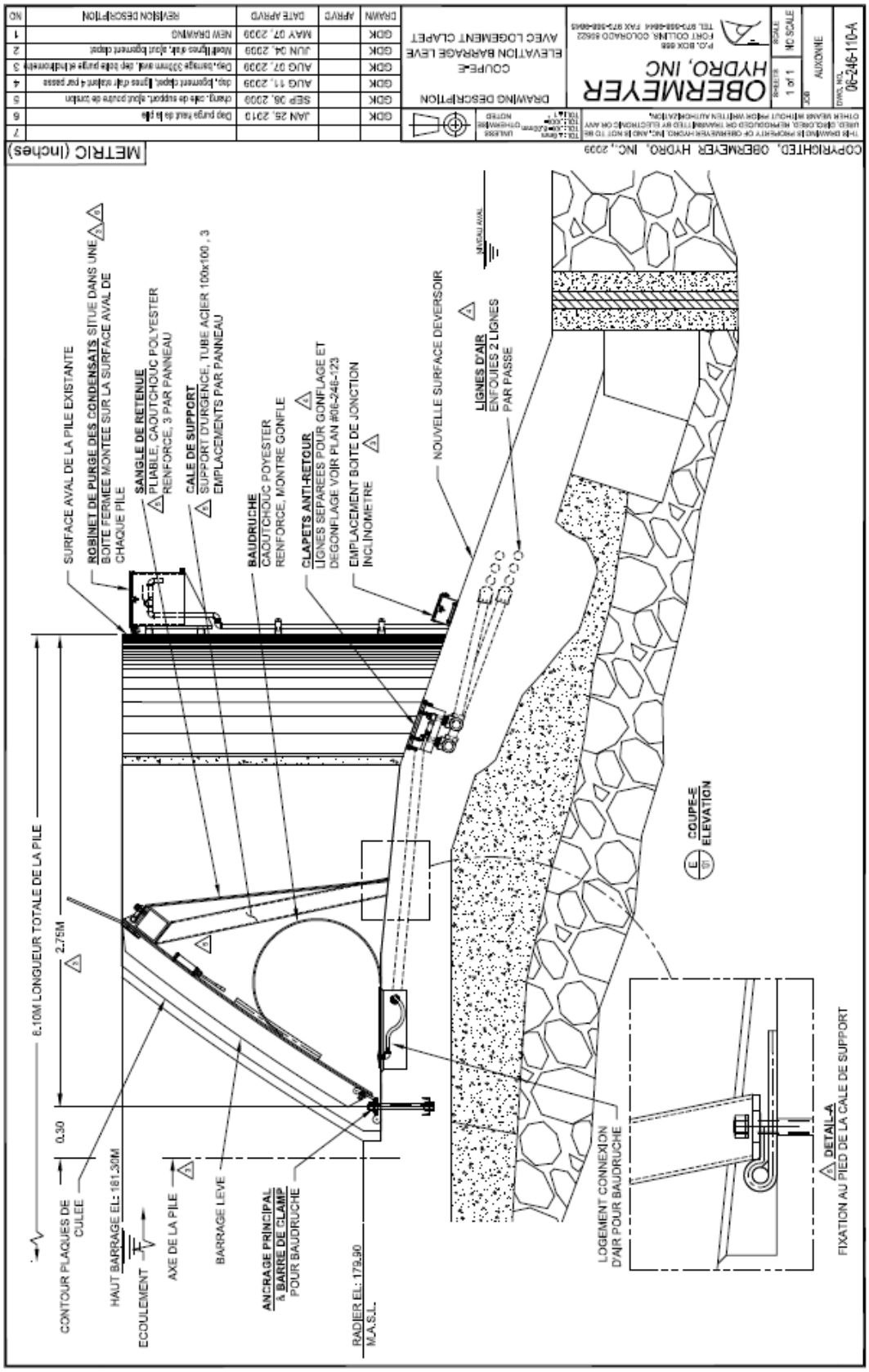






3. Plans


OBERMEYER HYDRO, INC
DRAWING DESCRIPTION
AUXONNE
PASSES DEVERSOIR #1-4
FLOW
PILE #1
PILE #2
PILE #3
PILE #4
PILE #5
PASSE #1
PASSE #2
PASSE #3
PASSE #4
ZONE #1
ZONE #2
ZONE #3
ZONE #4
62,50 M
49,50M
METRIC (Inches)


COPYRIGHTED, OBERMEYER HYDRO, INC., 2009
METRIC (inches)
OBERMEYER HYDRO, INC
P.O. BOX 888
FORT COLLINS, COLORADO 80522
TEL. 970-568-8844 FAX 970-568-8845
COUPE
ELEVATION DU BARRAGE LEVE
AVEC LOGEMENT CLAPET
DRAWING DESCRIPTION
AUXONNE
06-246-110-A
NO SCALE
1 of 1
NO
DATE APRVD
DRAWN
REVISION DESCRIPTION
1 NEW DRAWING MAY 07, 2009 GDK
2 Modifiées étab. ajout bigonnet dépot JUN 04, 2009 GDK
3 Dép. barrage 325mm avec, dep sable purge et indicateurs AUG 07, 2009 GDK
4 dép. bigonnet dépot, lignes d'air valent 4 par passe AUG 11, 2009 GDK
5 dessin, cale de support, ajout poutre de contion SEP 30, 2009 GDK
6 Dép purge haut de la pile JAN 25, 2010 GDK
7
SURFACE AVAL DE LA PILE EXISTANTE
ROBINET DE PURGE DES CONDENSATS SITUE DANS UNE BOITE FERMEE MONTEE SUR LA SURFACE AVAL DE CHAQUE PILE
SANGLE DE RETENUE
PLIABLE, CAOUTCHOUC POLYESTER RENFORCE, 3 PAR PANNEAU
CALE DE SUPPORT
SUPPORT D'URGENCE, TUBE ACIER 100x100, 3 EMPLACEMENTS PAR PANNEAU
BAUDRUCHE
CAOUTCHOUC POYESTER RENFORCE, MONTRE GONFLE
CLAPETS ANTI-RETOUR
LIGNES SEPAREES POUR GONFLAGE ET DEGONFLAGE VOIR PLAN #06-246-123
EMPLACEMENT BOITE DE JONCTION INCLINOMETRE
NOUVELLE SURFACE DEVERSOIR
LIGNES D'AIR
ENFOUIES 2 LIGNES PAR PASSE
NIVEAU AVAL
8.10M LONGUEUR TOTALE DE LA PILE
2.75M
0.30
CONTOUR PLAQUES DE CULEE
HAUT BARRAGE EL: 181.30M
ECOULEMENT
AXE DE LA PILE
BARRAGE LEVE
ANCRAGE PRINCIPAL & BARRE DE CLAMP POUR BAUDRUCHE
RADIER EL: 179.90 M.A.S.L.
LOGEMENT CONNEXION D'AIR POUR BAUDRUCHE
COUPE-E
ELEVATION
DETAIL-A
FIXATION AU PIED DE LA CALE DE SUPPORT

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Auxonne
Localisation	Auxonne
Maître d'Ouvrage	VNF
Procédé	BGVM
Largeur utile	204m
Hauteur utile	1,40 m
Hauteur de chute	Variable suivant niveau aval
Nombre de passes	4 passes (3x52,5m + 46,5m)
Cours d'eau	Saône
Débits caractéristiques	
i. Etiage	50m3/s
ii. Moyen	126m3/s
iii. Maximum	Q50= 1380m3/s
But de l'ouvrage	Régulation pour la navigation
Année de réalisation	2011
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction avec réutilisation du génie civil d'un ancien barrage à aiguilles
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Oui
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Non
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Oui, Qmax= 30m3/s
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Appel d'offre ouvert
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, par Dyrhoff (Obermeyer)
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	3
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Oui
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Juin 2009
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation passe par passe
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Palplanches à l'amont, digue en enrochements étanchée par géomembrane à l'aval
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Deux inondations du chantier en 2010
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Avril 2011
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	3 ans

Questions	Réponses
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Non
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	Mise en fonctionnement de la membrane (gonflage, dégonflage, essai de vidange en urgence, essai du groupe électrogène, essai de résistance du dispositif de maintien d'un clapet suite à l'effacement d'un coussin)
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	Oui
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	Entreprise (clapet) et fournisseur (C/C, coussins)
ii. Pour quelle durée ?	9 ans (corrosion des clapets), 1 an (contrôle/commande), 3 ans (coussins gonflables)
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	Non
Quel est le coût de l'ouvrage ?	5,2M€ (inclus PàP, PàC, plateforme d'observation, rénovation superstructures)
i. Génie civil	2,5M€ (hors PàP, PàC,…)
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	1,7M€
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une cote de plan d'eau à maintenir. En dessous de 30m3/s, la centrale régule le débit. Au dessus, les clapets commencent à s'abaisser
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	+/- 2,5cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Batardage amont : ancien barrage à aiguilles
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Affaissement accidentel d'un module fortement réduit par appui sur les modules voisins
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Non
Si oui, lesquels	-
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	-
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	-
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	-
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	Non
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Aucun enlèvement, les embâcles passent sur le barrage
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui (purge,…)
i. A quelle fréquence ?	?
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Non
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	Insertion architecturale
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	-
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	-
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	-
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	-
iii. Renouvellement	-

Fiche d'ouvrage n°15 : Barrage de Villers devant Mouzon

1. ENSEIGNEMENTS / INFORMATIONS RETENUS 278

2. RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE 279

2.1 Vue satellite 279

2.2 Vues du barrage 279

2.3 Vues de détail 281

3. PLANS 282

4. QUESTIONNAIRE BENCHMARK 283

1. Enseignements / Informations retenus

Les principaux enseignements et informations retenus sont les suivantes :

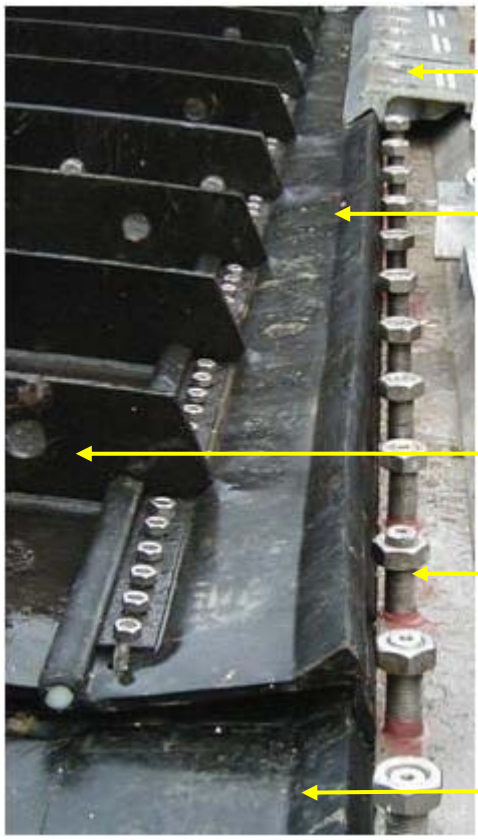
- Standardisation et modularité du système BGVM : la passe est composée de 3 modules identiques, seule l'étanchéité inter-volet diffère.
- Les volets métalliques ont été réalisés en Allemagne. Seuls les coussins et ancrages ont été fournis par Obermeyer. La mise en place de l'ensemble des modules a été effectuée par l'entreprise Dyrhoff.
- Le système d'ancrage mis en place est le système faisant l'objet du brevet Obermeyer. Il se constitue d'une plaque en acier (« clamp ») vissée en amont immédiat du barrage et venant coincer l'extrémité amont des coussins et l'articulation souple du volet, formées d'un talon.
- L'étanchéité inter-volet des volets RG et central est assurée au moyen d'un joint en caoutchouc armé fixé à chaque volet. L'étanchéité inter-volet des volets RD et central est assurée par un joint en note de musique fixé sur le volet RD, qui vient s'appuyer sur le bord du volet central, équipé d'un contreplat latéral.
- L'étanchéité au contact volet-culée est assurée par la mise en place d'un joint en caoutchouc armé, fixé à l'extrémité du volet. Afin d'assurer le contact au bajoyer, un plat en polyéthylène de 19mm d'épaisseur a été mis en place sur la surface de béton, afin de limiter la formation de glace par grand froid.
- La pression de fonctionnement normale du barrage est de l'ordre de 0,5bar.
- La pression de gonflage maximale est de 1,3bar.
- Les deux coussins RG et centraux sont alimentés et vidangés par la même tuyauterie.
- Le compresseur est suppléé par un réservoir d'air de 300L afin de limiter ses temps de fonctionnement. Il peut également être suppléé en cas de défaut par un compresseur de secours à moteur thermique.
- Les tests et suivis réalisés sur le barrage ont montré que :
  - ✓ Les joints pour étanchéité latérale n'étaient pas efficaces du fait d'un défaut de conception (joint plié). Il est préférable qu'il soit constitué d'un joint plat dont le contact avec le bajoyer s'effectue en bord de joint ;
  - ✓ Les plats d'étanchéité en PEHD n'ont pas été satisfaisants vis-à-vis du scellement sur le GC ;
  - ✓ Le ballon était 5 à 10 fois sous dimensionné en cas de non fonctionnement du compresseur ;
  - ✓ Les fuites simulées sur les coussins sont compensées par le compresseur dans la mesure où le débit de fuite n'excède pas le débit du compresseur ;
  - ✓ Les frottements au droit du joint à note de musique engendre des déformations des volets, visibles pour de faibles lames d'eau, du fait d'un manque de rigidité en partie haute des clapets ;
  - ✓ Le joint inter-volet « RG-centre » montrait des signes de faiblesse en raison d'un entraxe insuffisant des boulons de fixation ;
  - ✓ Les matériaux utilisés pour les coussins sont insensibles aux UV mais sensible au fluage, ce qui peut poser des soucis au niveau des fixations de l'articulation souple du volet et de l'extrémité amont du coussin.

2. Rapport Photographique

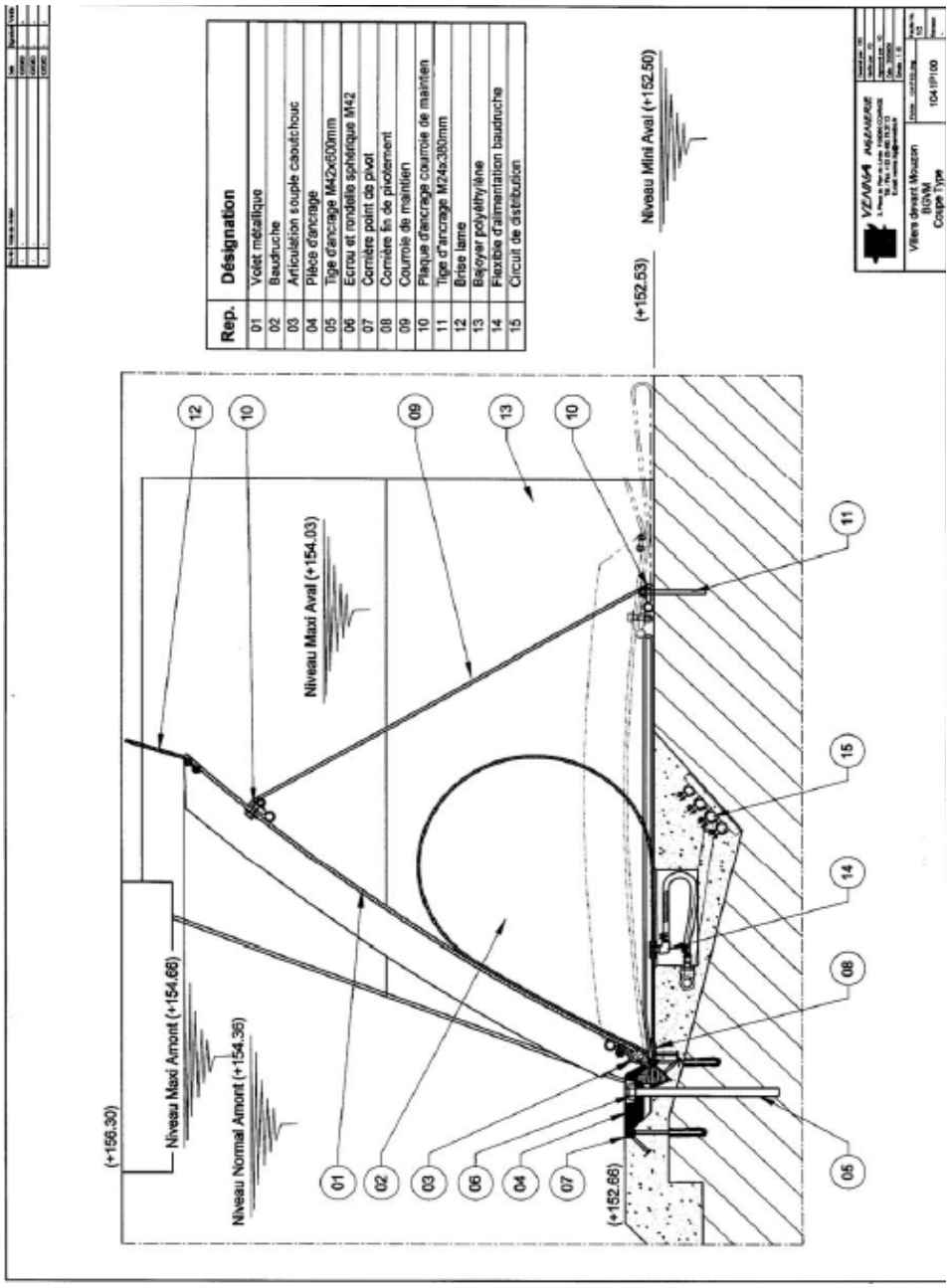
2.1 Vue satellite

2.2 Vues du barrage

2.3 Vues de détail



3. Plans


Rep. | Désignation
01 | Volet métallique
02 | Baudruche
03 | Articulation souple caoutchouc
04 | Pièce d'ancrage
05 | Tige d'ancrage M42x600mm
06 | Ecrou et rondelle sphérique M42
07 | Cornière point de pivot
08 | Cornière fin de pivotement
09 | Courroie de maintien
10 | Plaque d'ancrage courroie de maintien
11 | Tige d'ancrage M24x380mm
12 | Brise lame
13 | Bajoyer polyéthylène
14 | Flexible d'alimentation baudruche
15 | Circuit de distribution
(+156.30)
Niveau Maxi Amont (+154.68)
Niveau Normal Amont (+154.36)
Niveau Maxi Aval (+154.03)
(+152.86)
(+152.53)
Niveau Mini Aval (+152.50)
VEOLIA INGENIERIE
Vilers devant Mouzon
BUVM
Coupe Type
104 IP100

4. Questionnaire Benchmark

Questions	Réponses
1- DONNEES GENERALES	
Nom de l'ouvrage	Villers
Localisation	Villers devant Mouzon
Maître d'Ouvrage	VNF
Procédé	BGVM
Largeur utile	17,70m
Hauteur utile	2,00 m
Hauteur de chute	Variable suivant niveau aval
Nombre de passes	1 passe
Cours d'eau	Meuse
Débits caractéristiques	
i. Etiage	-
ii. Moyen	-
iii. Maximum	-
But de l'ouvrage	Régulation pour la navigation
Année de réalisation	2005
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction avec réutilisation du génie civil d'un ancien barrage gonflable (expérimentation de 1985 soldée par un échec)
L'ouvrage dispose-t-il d'une passe à poissons?	Non
L'ouvrage dispose-t-il d'une passerelle privée/publique?	Passerelle existante de l'ancien barrage gonflable positionnée en aval immédiat du barrage
Caractéristiques de la centrale hydroélectrique (puissance installée/nombre de turbines)	Pas de centrale hydroélectrique
2- PHASE DE CONSULTATION	
Quel a été le mode de consultation (Appel d'offre ouvert,…)?	Marché Négocié, sans publicité ni mise en concurrence
La solution barrage gonflable est-elle une solution de base ou une variante entreprise ?	Solution de base
La fourniture de la bouchure a-t-elle fait l'objet d'un lot spécifique ?	Non
Si oui la bouchure et ses équipements (membrane, canalisation, système d'alimentation,…) ont été installés par une entreprise spécifique?	Oui, par Dyrhoff (Obermeyer)
Le marché s'est-il montré concurrentiel ? Nombre d'offres reçues	-
L'existence de brevets a-t-elle été un frein à la concurrence?	Oui
3- PHASE DE CONSTRUCTION	
A quelle date a débuté le chantier ?	Fin septembre 2005
Quel était le phasage prévu notamment vis-à-vis du risque de crues ?	Réalisation sur le barrage secondaire, transit des débits par barrage principal
Quel a été le mode de batardage (enceinte palplanches, merlons de terre,…)?	Barrage à aiguilles existant pour le batardeau amont et digue en terre pour le batardeau aval
Y a-t-il eu des problèmes inattendus lors du chantier?	Aucun

Questions	Réponses
Les conditions de mise à sec des passes ont été normales / difficiles / périlleuses ?	Normales
Quelles sont les dates de mise en service partielle/ totale ?	Fin novembre 2005
Quel a été le délai constaté de réalisation ?	2 mois
Le délai d'exécution du chantier est-il lié à la technologie utilisée ?	Oui, la pose des bouchures n'a mis que 2 jours
L'agrément des matériaux constitutifs de la bouchure a-t-il été débattu ?	Non, mais des tests ont été effectués sur une baudruche fournie par Obermeyer
En quoi ont consisté les épreuves de réception de la baudruche ?	-
Les ouvrages sont-ils garantis (matériaux constitutifs de la membrane, système de gonflage,…)?	-
i. Par qui : fournisseur / entreprise ?	-
ii. Pour quelle durée ?	-
iii. Quelles sont les clauses d'exclusion de la garantie ?	-
Quel est le coût de l'ouvrage ?	
i. Génie civil	-
ii. Equipements (membrane, automatisme, télégestion)	-
4- PHASE D'EXPLOITATION	
Quelles sont les consignes de régulation du plan d'eau ?	Régulation selon une consigne. Limitation du débit au dessus du BGVM pour éviter les courants traversiers, puis poursuite de l'abaissement du clapet en cas de dépassement de la cote PHEN
Quels sont les exigences en termes de précision de régulation du plan d'eau (+/-cm) ?	+/- 5 cm
Quels sont les dispositifs de batardage prévus sur cet ouvrage en cas d'urgence et/ou de maintenance?	Batardage amont : ancien barrage à aiguilles
Une manœuvre d'urgence en cas d'affaissement accidentel de la baudruche est-elle possible ?	Mise en place du batardeau amont
Des incidents sont ils survenus depuis la mise en service de l'ouvrage ?	Non
Si oui, lesquels	-
Y-a-t-il eu un impact sur l'exploitation (perte de production électrique, incapacité à assurer la navigation,…) ?	-
Les incidents ont-ils nécessité un rappel de l'Entreprise en charge des travaux ?	-
Quelles ont été les opérations de réparation (suite à une crevaison)?	-
Avez-vous rencontré d'autres difficultés ? Lesquelles	- Interférence entre le coussin central et le volet RD en position dégonflée - Distension de certaines sangles de maintien - Fuites au droit des bajoyers en raison de défauts de conception (joint + plat) - Malfaçons constatées de soudures et serrages de pièces de fixation
Comment est assuré le passage (ou l'enlèvement) des embâcles importants (arbres)?	Aucun enlèvement, les embâcles passent par le barrage principal

Questions	Réponses
Les bouchures et organes de manœuvre font-ils l'objet d'inspections régulières (détaillées et/ou courantes) ?	Oui
i. A quelle fréquence ?	1x/semaine : contrôle système alimentation en air + purge 1x/an : batardage + inspection bouchure (ancrage, joints, tension des sangles)
ii. Existe-t-il des comptes-rendus d'inspections ?	Oui
Quels sont les avantages de ce type de bouchure ?	-
Quelles sont ses limites d'utilisation ?	-
5- COÛTS D'ENTRETIEN, MAINTENANCE et RENOUVELLEMENT	
Quelles sont les opérations d'entretien, maintenance et renouvellement effectuées sur l'ouvrage ?	Remplacement des joints assurant l'étanchéité latérale de la bouchure du fait d'un défaut de conception, Réparation des plats en PEHD suite à leur descellement
Quelle est la liste et l'état des coûts d'intervention ?	
i. Entretien courant – exploitation	-
ii. Contrôles, maintenance du génie civil et équipements	-
iii. Renouvellement	-

Fiche d'ouvrage n°16 : Barrage de Ackermann

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Ackermann
Localisation	Augsburg, Bavière, Allemagne
Maître d'Ouvrage	Fa. Ackermann & Stadt Augsburg
Procédé	BG Air
Fournisseur	Floecksmühle
Largeur utile	35m
Hauteur utile	2,43m
Nombre de passes	1
But de l'ouvrage	Centrale électrique
Année de réalisation	2006
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction suite à la destruction de l'ancien ouvrage lors d'une crue.

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°17 : Barrage de Bahnitz

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Bahnitz
Localisation	Premnitz, Brandenburg, Allemagne
Maître d'Ouvrage	WSV
Procédé	Eau
Fournisseur	Floeksmühle
Largeur utile	60,60m
Hauteur utile	2,45m
Nombre de passes	2
But de l'ouvrage	Maintien de bief
Année de réalisation	Début 2008
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Remplacement d'un barrage à aiguilles

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n° 18 : Barrage de Cuneo Tanaro

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Cuneo Tanaro
Localisation	Isorella, Italie
Maître d'Ouvrage	ENEL (Ente Nazionale per l'energia ELettrica)
Procédé	BG air
Fournisseur	Hydro Air Bank
Largeur utile	76,33m
Hauteur utile	1,6m
Nombre de passes	1
But de l'ouvrage	Hydroélectricité
Année de réalisation	1995
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°19 : Barrage de Erlangen

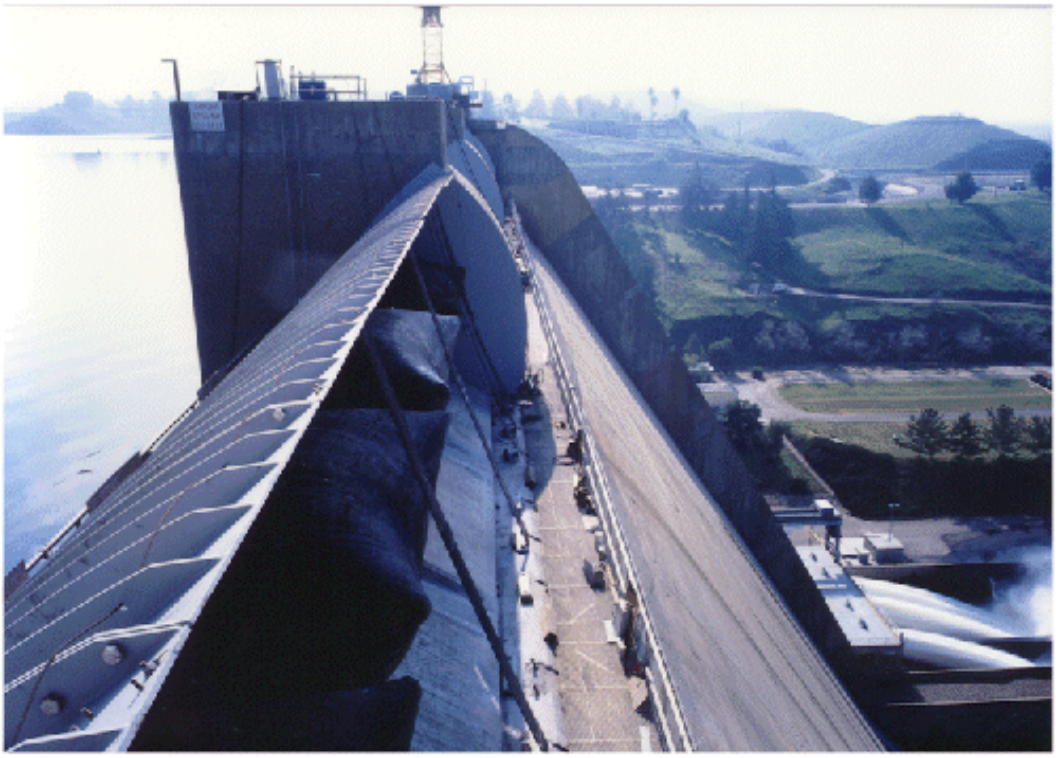
DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Erlangen
Localisation	Erlangen, Bavière, Allemagne
Maître d'Ouvrage	ESTW (Erlanger Stadtwerke)
Procédé	Eau
Fournisseur	Hydroconstruct
Largeur utile	22,40m
Hauteur utile	1,20m
Nombre de passes	1
But de l'ouvrage	Centrale électrique
Année de réalisation	1981
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	-

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°20 : Barrage de Friant

DESCRIPTION GENERALE



Nom de l'ouvrage	Friant dam
Localisation	Friant, Californie, USA
Maître d'Ouvrage	USBR (US bureau of reclamation)
Procédé	BGVM
Fournisseur	Obermeyer
Largeur utile	61m
Hauteur utile	5,5m
Nombre de passes	2
But de l'ouvrage	Retenue d'eau
Année de réalisation	1998
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf sur ouvrage existant

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°21 : Barrage de Padova

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Padova
Localisation	Italie
Maître d'Ouvrage	Mairie de Padova
Procédé	BGVM eau
Fournisseur	Hydro Air Bank
Largeur utile	6m
Hauteur utile	1,8m
Nombre de passes	1
But de l'ouvrage	Régulation d'une prise d'eau sur le fleuve Bacchiglione
Année de réalisation	2010
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°22 : Barrage de Ramspol

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Ramspol
Localisation	Kampel aux Pays-Bas
Maître d'Ouvrage	Water-board District Groot Salland
Procédé	Air + Eau
Fournisseur	Bridgestone
Largeur utile	3 passes de 60m
Hauteur utile	8,2m
Nombre de passes	3
But de l'ouvrage	Protection contre les inondations
Année de réalisation	2002
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Ouvrage neuf

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Fiche d'ouvrage n°23 : Barrage de Sinnissippi

DESCRIPTION GENERALE

Nom de l'ouvrage	Sinnissippi
Localisation	Rock Falls, Illinois, USA
Maître d'Ouvrage	Etat de l'Illinois
Procédé	BGVM
Fournisseur	Obermeyer
Largeur utile	174m
Hauteur utile	2,5m
Nombre de passes	7
But de l'ouvrage	Centrale électrique
Année de réalisation	2002
Reconstruction/Réhabilitation/ Ouvrage neuf	Reconstruction

Cet ouvrage n'a pas fait l'objet d'une visite.

Annexes 3 : Analyses juridiques

SOMMAIRE

Annexe 3.1 : Propriété intellectuelle 305

Annexe 3.2 : Schémas de contractualisation.....327

Annexe 3.1 : Propriété intellectuelle

SOMMAIRE

1. Introduction 308

2. Définitions relatives aux brevets et implications 309

2.1 Objet et durée de vie d'un brevet 309

2.2 Procédure de dépôt d'un brevet 309

2.3 Voie d'extension européenne et internationale 310

2.4 Maintien en vigueur 311

2.5 Implications de l'usage des brevets en marchés publics 311

3. Recherche d'antériorité 312

3.1 Méthodologie suivie 312

3.2 Résultats de la recherche 312

4. Brevets susceptibles d'ouvrir droit sur la France 313

4.1 Brevets français valides ou pouvant être validés sur la France 313

4.1.1 Système de barrage pour plan d'eau du type à clapet pivotant 313

4.1.2 Barrage gonflable anti-inondations 314

4.1.3 Matériel d'obturation composé d'une structure souple et d'un dispositif de traction pour remise en place 315

4.1.4 Dispositif de protection notamment contre les inondations 316

4.1.5 Déversoir installé en bordure d'un plan de liquide, notamment un plan d'eau 317

4.2. Brevets européens valides ou pouvant être validés sur la France 318

4.2.1 Structure de montage pour un barrage gonflable 318

4.2.2 Digue de retenue d'eau 319

4.2.3 Dispositif de raccordement pour structures composites renforcées 320

4.2.4 Porte d'écluse flexible 321

4.2.5 Digue mobile 322

4.3 Demandes internationales pouvant donner lieu à un droit sur la France si la phase européenne est engagée en temps utile 323

4.3.1 Barrière gonflable de protection contre les inondations 323

4.3.2 Paroi anti-inondation 324

5. Conclusion 326

1. Introduction

L'annexe 3 traite d'une analyse juridique portant sur deux thématiques :

- la propriété intellectuelle et/ou industrielle ;
- les schémas de contractualisation.

Les attendus pour cette phase sont les suivants (extrait du cahier des charges) :

« L'analyse sur la propriété intellectuelle et/ou industrielle consiste à réaliser, par un spécialiste du domaine, une étude spécifique sur les procédés brevetés identifiés lors des phases précédentes, les périmètres et limites des brevets, tant sur les plans techniques, que géographiques (pays concernés) et temporels (durée d'application des brevets). L'étude portera également sur les droits, les possibilités, responsabilités et risques de VNF et de ses prestataires quant à l'utilisation des procédés brevetés, à court (1 à 5 ans), moyen (5 à 10 ans) et long terme (10 à 30 ans). »

Ce document porte uniquement sur la première partie traitant de « propriété intellectuelle et/ou industrielle ».

RESSOURCES MOBILISEES

Pour mener à bien cette phase d'étude, BRL ingénierie s'est associé les services d'une société spécialisée en propriété intellectuelle et industrielle, le cabinet **Ravina s.a.**, mandataire de l'Office Européen des Brevets.

Ravina exerce depuis 35 ans dans le domaine des droits de propriété industrielle, brevets, marques et modèles pour ses clients. Ses principales interventions portent sur la thématique brevets :

- recherche d'antériorités, études de liberté d'exploitation ;
- dépôt de brevets français, européens, étrangers et suivi de procédures ;
- actions en contrefaçons, etc…

2. Définitions relatives aux brevets et implications

2.1 Objet et durée de vie d'un brevet

En échange de la divulgation de l'invention qu'il protège, la détention d'un brevet permet d'acquérir pour le déposant un droit exclusif d'exploitation et de propriété temporaire, pendant vingt ans. Au-delà, l'invention « tombe » dans le domaine public et peut être reproduite.

L'existence d'un brevet donne le monopole d'exploitation de l'invention revendiquée par son déposant pour une durée de vingt ans.

Durant cette période, **le brevet est opposable à tous**. Toute reproduction non autorisée par le déposant pendant cette période peut faire l'objet d'une action en contrefaçon contre l'utilisateur, aux fins d'indemnisation et éventuelle destruction du matériel contrefait.

2.2 Procédure de dépôt d'un brevet

En France, les demandes de brevet sont déposées auprès de l'INPI (Institut National de la Propriété Industrielle). Après le dépôt, la demande de brevet est examinée par la défense nationale (afin de déterminer si l'invention présente des applications militaires) puis subit un examen de forme.

Pour tout dépôt d'une demande de brevet, l'INPI effectue systématiquement une recherche citant les brevets antérieurs proches de l'invention déposée.

Le brevet sera jugé par rapport à l'état de la technique, constitué par tout ce qui a été rendu accessible au public avant la date de dépôt de la demande de brevet par une description écrite ou orale, un usage ou tout autre moyen.

Cette recherche est communiquée environ 9 mois après le dépôt. Le contenu de la demande de brevet est rendue accessible au public 18 mois après le dépôt.

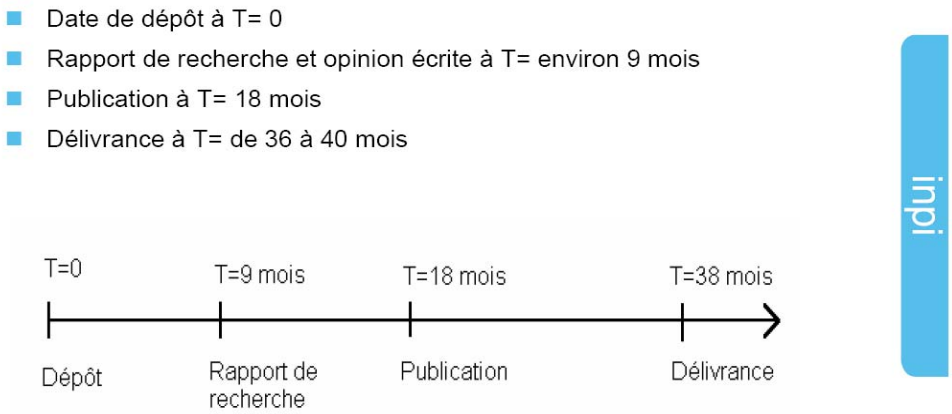


Fig. 1 : procédure et délais de dépôt d'un brevet auprès de l'INPI (France)

Suivant cette procédure, la délivrance réelle du brevet intervient environ 3 ans après le dépôt. Toutefois, l'invention est protégée à partir du jour du dépôt de la demande.

2.3 Voie d'extension européenne et internationale

La protection accordée par un brevet déposé à l'INPI est valable sur le seul territoire français, au même titre qu'un brevet déposé par une entreprise dans un autre pays (Etats-Unis par exemple) n'assure pas automatiquement la protection de l'invention en France.

Quand une entreprise vient à exploiter son invention à l'étranger, elle doit étendre la protection de son brevet aux autres pays.

Ceci peut être effectué en déposant une demande d'extension en ciblant les pays dans lesquels la protection est recherchée (pays par pays) ou auprès d'organisations internationales. Dans ce cas, il est question d'une demande de :

BREVET INTERNATIONAL (PATENT COOPERATION TREATY)

Par une demande internationale unique devant l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI), la protection de l'invention peut être assurée dans un grand nombre de pays.

BREVET EUROPEEN

Par une demande unique auprès de l'Office européen des brevets (OEB), la protection de l'invention peut être assurée dans plusieurs pays européens.

Fig. 2 : exemple de procédure d'extension d'un brevet français à l'international

CAS D'UNE DEMANDE D'EXTENSION D'UN BREVET AMERICAIN AU TERRITOIRE FRANÇAIS

Comme pour la France, la protection prend effet à la date du dépôt de la demande aux Etats-Unis. (statut « US »). Le constructeur a 12 mois pour solliciter une extension mondiale, c'est la demande PCT pour le statut « WO ». Le délai d'examen est de 30 mois à compter de la date du premier dépôt au USA.

Si l'examen est positif commence alors la phase Européenne d'examen du brevet, qui prend habituellement deux ans. Suite à quoi commence la phase nationale pour délivrance du brevet en France. Le déposant a 30 jours pour traduire les revendications de son brevet en français. Pas avant car l'anglais est une des langues de procédure.

2.4 Maintien en vigueur

Le déposant doit acquitter une redevance de maintien en vigueur chaque année jusqu'au terme du brevet. Cette redevance est calculée en fonction de l'étendue géographique sur laquelle la protection est recherchée.

Le coût de maintien en vigueur d'un brevet peut s'avérer important et demande au déposant d'évaluer la rentabilité d'une extension internationale. Pour mémoire, le coût estimé est le suivant (source INPI) :

- 6 000 € pour un brevet français ;
- 15 000 € pour un brevet américain ;
- 35 000 € pour un brevet européen désignant 10 pays principaux avec maintien en vigueur pendant les dix premières années ;
- 50 000 € pour une procédure PCT désignant 10 pays avec maintien en vigueur pendant les dix premières années ;
- 100 000 € pour un brevet européen désignant 10 pays principaux, avec paiement des annuités jusqu'au terme des 20 ans.

A défaut du paiement des taxes de maintien en vigueur, un brevet est considéré comme « non entretenu » : l'invention n'est plus protégée et sa restauration est impossible.

2.5 Implications de l'usage des brevets en marchés publics

L'Etat et les collectivités qui souhaitent mettre en œuvre des dispositifs brevetés ne peuvent le faire qu'avec le titulaire (ou l'exploitant titulaire d'un contrat d'exploitation). Le dispositif ne peut donc pas faire l'objet d'une mise en concurrence dans les cadres habituel du Code des Marchés Publics (CMP).

L'article 35.II.8 du CMP stipule « peuvent être négociés sans publicité préalable et sans mise en concurrence : les marchés et les accords-cadres qui ne peuvent être confiés qu'à un opérateur économique déterminé pour des raisons techniques, artistiques ou tenant à la protection de droits d'exclusivité ».

Les jurisprudences du Conseil d'Etat et de la Cour de Justice Européenne ont considéré qu'un brevet constitue bien un « droit d'exclusivité » au sens du Code des Marchés Publics et de la Directive Achats Publics.

En pratique, l'expression «qui ne peuvent être confiés qu'à un opérateur économique déterminé pour des raisons (…) tenant à la protection de droits d'exclusivité » entraîne de fortes responsabilités des services techniques qui doivent justifier du choix exclusif du procédé breveté qui exonère l'acheteur public des habituelles modalités de publicité et de mise en concurrence, sans qu'ils puissent s'appuyer sur les critères de choix du «mieux-disant ».

La mise en œuvre par VNF de solutions de barrages gonflables (études, travaux) pour la réhabilitation de barrages de navigation impose au préalable de faire un bilan des technologies ou procédés brevetés, afin de savoir si l'utilisation de l'art. 35.II.8 du CMP est nécessaire.

BRL ingénierie a confié cette recherche d'antériorité au Cabinet Ravina s.a. La méthodologie suivie et les principales conclusions sont présentées dans le chapitre suivant.

3. Recherche d'antériorité

3.1 Méthodologie suivie

Les ouvrages à réhabiliter sont tous situés sur le territoire français, pour le compte d'un Maître d'Ouvrage français, Voies Navigables de France. Un Conseil en Propriété Intellectuelle, mandataire O.H.M.I.[11] a procédé à une recherche d'antériorité sur la période 1979-2010 dans le fond documentaire des demandes de brevets français, européens au sens de la convention de Munich et internationales au sens du traité de Washington, susceptibles de créer un droit de propriété sur le territoire français.

La recherche a porté sur des dispositifs de barrage ou de digue mettant en œuvre des éléments gonflables soit pour actionner un élément de barrage ou de vanne soit pour constituer barrière à la progression des eaux. Elle a été effectuée :

- en utilisant les codes de classification internationale des brevets, groupe E02B00 - 310 / 506 / 508 / 700 à 754 / 800 à 806 ;
- dans le fond documentaire des demandes de brevets français (réf. INPI) et européen (réf. OEB).

La recherche, menée en décembre 2010, n'intègre pas les demandes de brevets déposées mais non encore publiées (cf. § 2.2)

3.2 Résultats de la recherche

Nous livrons ci-après les conclusions du cabinet Ravina sa :

« Du résultat de cette recherche, il apparaît que le domaine public contient de tels dispositifs de sorte que le principe directeur de ces inventions est libre de droits. Les brevets et demandes de brevet en vigueur sur le territoire français portent ainsi, non pas sur ces principes généraux, mais sur des modalités pratiques d'exécution.

Les revendications que comporte chaque titre de propriété définissent la nature et l'étendue du droit de propriété. Chaque jeu de revendication comporte une ou plusieurs revendications indépendantes et une ou plusieurs revendications dépendantes qui doivent s'analyser dans le contexte de la revendication indépendante à laquelle elles sont chacune rattachées.

Habituellement chaque revendication indépendante est structurée en deux parties à savoir un préambule faisant état des caractéristiques techniques connues de l'état de la technique pour lesquelles la protection n'est pas recherchée et une partie caractérisante, séparée de la première partie par les termes « caractérisé en ce que» faisant état des caractéristiques techniques pour lesquelles, en combinaison avec celles du préambule, une protection est recherchée. Parfois les revendications indépendantes sont présentées en une seule partie, il doit alors être tenu compte de la revendication dans son ensemble ».

Le principe du barrage gonflable, gonflé à l'air ou à l'eau, ainsi que le principe d'un volet métallique mu par un actionneur gonflable sont du domaine public et peuvent être reproduits. En revanche, certains dispositifs constructifs ou modalités pratiques d'exécution sont brevetés et peuvent faire l'objet d'une action en contrefaçon.

[11] L'OHMI est l'agence de l'Union Européenne compétente pour l'enregistrement des marques et des dessins ou modèles valables dans les 27 pays de l'Union européenne

4. Brevets susceptibles d'ouvrir droit sur la France

Les principaux brevets contenant des revendications susceptibles de concerner l'étude ou la mise en œuvre de bouchures et systèmes gonflables sont les suivants.

Ils ont été classés par zone d'émission - France, Europe, International - et par date de validité de protection des procédés brevetés. Pour chacun d'entre eux, un schéma de principe et la liste des revendications est précisée.

4.1 Brevets français valides ou pouvant être validés sur la France

4.1.1 Système de barrage pour plan d'eau du type à clapet pivotant

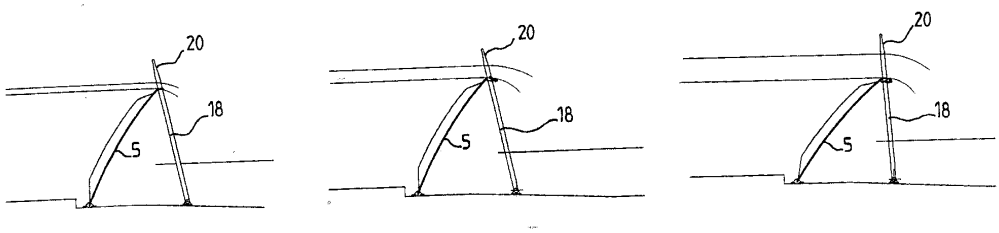
Brevet **FR 2816646** déposé le 13/11/2000 par EURODIM.

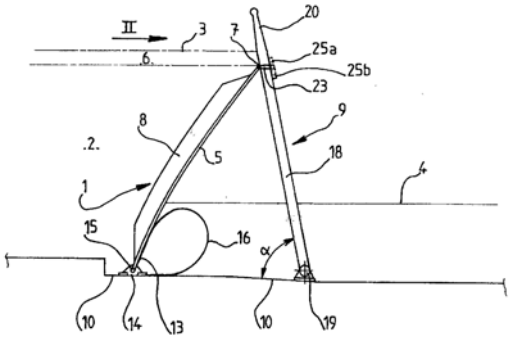
RESUME DE L'INVENTION :

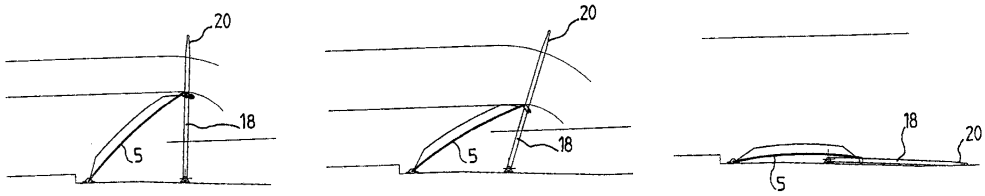
L'invention concerne un système de barrage pour plan d'eau. Le système est du type comprenant un dispositif de clapet (5) monté pivotant sur le sol (l0) du plan d'eau (2) entre une position élevée et une position abaissée. Il est caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de grille (9) de protection contre la chute vers l'aval, notamment de petites embarcations, déplaçable entre une position haute dans laquelle elle fait saillie au-dessus du plan d'eau supérieur (3) et une position dite effacée, par le dispositif clapet, lorsque celui-ci se déplace entre ces positions relevée et abaissée. L'invention est utilisable pour la réalisation de barrages d'eau de plans d'eau.

Ce brevet ne comporte qu'une seule revendication indépendante établie comme suit :

> « Système de barrage pour plan d'eau, du type comprenant un dispositif de clapet monté pivotant sous l'effet d'un dispositif de commande sur le sol du plan d'eau entre une position élevée et une position abaissée et des moyens en forme de grilles de protection contre la chute vers l'aval d'objets entraînés par l'eau, notamment de petites embarcations, caractérisé en ce que les moyens de protection sont formés par la partie supérieure d'un dispositif de grille (9) dont l'extrémité inférieure est articulée au fond (10) du plan d'eau, pivotant autour d'un axe parallèle à l'axe de pivotement du dispositif de clapet (5) et disposé à une certaine distance dans la direction perpendiculaire de ce dernier, et en ce que le dispositif de grille est déplaçable par le dispositif clapet (5), entre une position haute dans laquelle elle fait saillie au-dessus du plan d'eau supérieur (3) et une position dite effacée, lorsque le dispositif clapet (5) se déplace sous l'effet de son dispositif de commande entre ces positions relevée et abaissée».







Ce brevet s'il est régulièrement entretenu tombera dans le domaine public le 17/10/2012.

4.1.2 Barrage gonflable anti-inondations

Brevet **FR 2 854 178** déposé le 23/04/03 par GUICHARD et VOPAL.

RESUME DE L'INVENTION :

Un barrage gonflable selon l'invention comprend un premier boudin gonflable (1) et un second boudin gonflable (2) parallèles et liés l'un à l'autre. A l'état gonflé, le premier boudin gonflable (1) présente une première pression inférieure à la seconde pression du second boudin gonflable (2). Les boudins gonflables (1, 2) viennent en appui latéral l'un contre l'autre lorsqu'ils reposent sur le sol (4). Ils sont liés l'un à l'autre par une nappe inférieure (5). Le premier boudin gonflable (1) est situé en amont dans le sens de l'écoulement du liquide à retenir (13). Ce brevet comporte deux revendications indépendantes (revendication 1 et revendication 11)

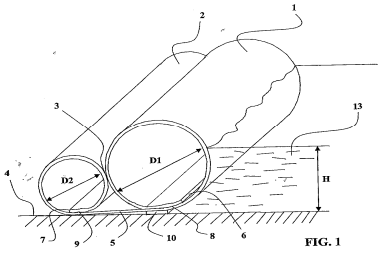
La première revendication est établie comme suit :

« Barrage gonflable, comprenant un premier boudin gonflable (1) et un second boudin gonflable (2) parallèles et liés l'un à l'autre, et dans lesquels:

- les boudins gonflables (1, 2) sont agencés à proximité l'un de l'autre de façon à venir en appui latéral l'un contre l'autre lorsqu'ils reposent sur le sol (4),
- les boudins gonflable (1, 2) sont gonflés avec de l'eau ou un fluide ayant une densité supérieure à celle de l'eau, caractérisé en ce que :
  - à l'état gonflé, le premier boudin gonflable (1) est gonflé à une première pression (Pl) inférieure à la seconde pression (P2) du second boudin gonflable (2),
  - de sorte que le second boudin gonflable (2) sert de cale s'opposant aux 10 mouvements du premier boudin gonflable (1), lequel premier boudin gonflable (1) se déformant pour suivre les irrégularités du sol et pour améliorer l'étanchéité du barrage. »

La revendication 11 est établie comme suit :

« Utilisation d'un barrage gonflable selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que le premier boudin gonflable (1) est disposé en amont du second boudin gonflable (2) dans le sens d'écoulement du liquide à retenir, et les boudins gonflables (1, 2) sont gonflés avec un fluide chargé ou non, de densité supérieure ou égale à celle de l'eau. »



Le rapport de recherche annexé à ce brevet fait état d'antériorités susceptibles d'être prise en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, en d'autre termes l'INPI émet des doutes sur l'activité inventive de l'invention objet de ce brevet.

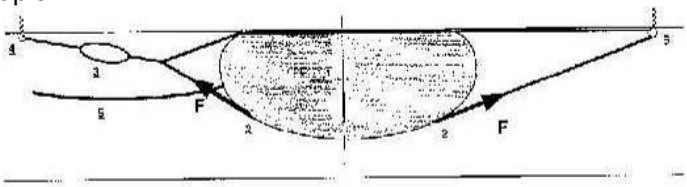
Ce brevet s'il est régulièrement entretenu tombera dans le domaine public le 23/04/2013.

4.1.3 Matériel d'obturation composé d'une structure souple et d'un dispositif de traction pour remise en place

Brevet **FR 2860569** déposé le 7/10/03 par LEVIEL SATUJO.

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention concerne un matériel composé d'une structure souple (I) de type obturateur à poste fixe et d'un dispositif de traction (3) pour sa remise en place lors du dégonflage. Le système de traction (3) peut consister en un vérin raccordé à l'alimentation de gonflage(5) de la structure souple.



Ce brevet comporte une revendication indépendante établie comme suit :

«Matériel composé d'une structure souple, gonflable et d'un dispositif de traction, la structure souple a pour fonction, lors de son gonflage, de venir se développer afin de réduire ou de fermer une section quelconque d'ouvrage soumise à des écoulements de fluide, la structure souple a au repos, avant gonflage, une position effacée correspondant à un encombrement minimum dans la section de l'ouvrage où elle est implantée à poste fixe, le matériel est caractérisé en ce que la structure souple (1) est reliée en au moins un point (2) à un dispositif (3) apte à exercer une force de traction entre la dite structure et au moins un point fixe (4) de l'ouvrage, judicieusement implanté afin de faciliter, lors du dégonflage de la structure souple, le retour de celle-ci en sa position effacée, comme représenté sur la figure 1. »

Le rapport de recherche annexé à ce brevet fait état de plusieurs antériorités à prendre en considération pour l'appréciation de la brevetabilité.

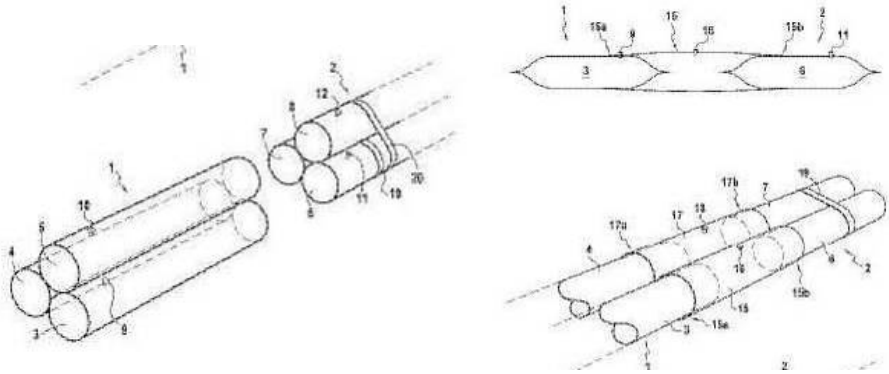
Ce brevet s'il est entretenu tombera dans le domaine public le 29/05/2015.

4.1.4 Dispositif de protection notamment contre les inondations

Brevet **FR 2 937 657** déposé le 24/10/08 par ALTOO.

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention concerne un dispositif de protection, trouvant notamment une application à la protection contre les inondations. Le dispositif comprend au moins un premier (1) et un deuxième (2) modules de protection, chacun comprenant au moins un premier élément de protection (3) à (8) souple apte à être rempli d'un fluide par l'intermédiaire d'un moyen de remplissage (9 à 12) en sorte de prendre une forme tubulaire. Le premier élément de protection du premier module est assemblé en l'une de ses extrémités à l'une des extrémités du premier élément de protection du deuxième module au moyen d'un premier élément d'assemblage (15). Le premier élément d'assemblage est apte à être rempli d'un fluide en sorte de prendre une forme tubulaire et d'assurer l'étanchéité de l'assemblage entre le premier et le deuxième élément de protection respectivement du premier et du deuxième module.



Cette demande de brevet ne comporte qu'une seule revendication indépendante établie comme suit:

> « Dispositif de protection, notamment contre les inondations, comprenant au moins un premier (1) et un deuxième (2) modules de protection, chacun desdits premier et deuxième modules de protection (1, 2) comprenant au moins un premier élément de protection souple (3 à 8) apte à être rempli d'un fluide par l'intermédiaire d'un moyen de remplissage (9 à 12) en sorte de prendre une forme tubulaire, ledit premier élément de protection (3, 4, 5) dudit premier module de protection (1) étant assemblé en l'une de ses extrémités à l'une des extrémité dudit premier élément de protection (6, 7, 8) dudit deuxième module de protection (2) au moyen d'un premier élément d'assemblage (15, 17), caractérisé en ce que ledit premier élément d'assemblage (15, 17) est apte à être rempli d'un fluide en sorte de prendre une forme tubulaire et d'assurer l'étanchéité de l'assemblage entre ledit premier élément de protection (3, 4, 5) dudit premier module de protection (1) et ledit premier élément de protection (6, 7, 8) dudit deuxième module de protection (2). »

Cette demande de brevet est en cours d'examen. Aucune donnée relative à la réponse du titulaire au rapport préliminaire de recherche n'est actuellement disponible.

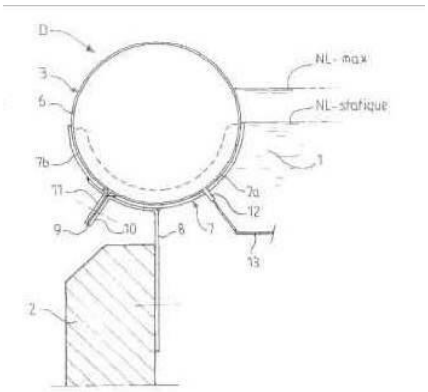
Cette demande semble toutefois éloignée du principe de barrage gonflable généralement utilisé pour une application d'ouvrage mobile de régulation en rivière.

4.1.5 Déversoir installé en bordure d'un plan de liquide, notamment un plan d'eau

Brevet **FR 2 940 334** déposé le 19/12/08 par DEGREMONT.

RESUME DE L'INVENTION :

Déversoir installé en bordure d'un plan de liquide (1), notamment d'eau, permettant d'assurer, dans un premier état, une phase de maintien du plan de liquide, et dans un deuxième état, une phase de déversement du liquide, comprenant au moins un élément gonflable tubulaire (3), et des moyens de gonflage et de mise à vide de cet élément tubulaire, la phase de maintien étant assurée lorsque l'élément tubulaire est gonflé sous pression, tandis que la phase de déversement est assurée lorsque l'élément tubulaire est mis à vide.



Cette demande de brevet comporte une revendication indépendante établie comme suit:

> « Déversoir installé en bordure d'un plan de liquide, notamment d'eau, permettant d'assurer, dans un premier état, une phase de maintien du plan de liquide et, dans un deuxième état, une phase de déversement du liquide, et caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément gonflable tubulaire (3), et des moyens de gonflage (4) et de mise à vide (5) de cet élément tubulaire, la phase de maintien étant assurée lorsque l'élément tubulaire est gonflé sous pression, tandis que la phase de déversement est assurée lorsque l'élément tubulaire est mis à vide. »

Cette demande de brevet est en cours d'examen aucune donnée relative à la réponse du titulaire au rapport préliminaire de recherche n'est actuellement disponible.

Cette demande semble toutefois éloignée du principe de barrage gonflable généralement utilisé pour une application d'ouvrage mobile de régulation en rivière.

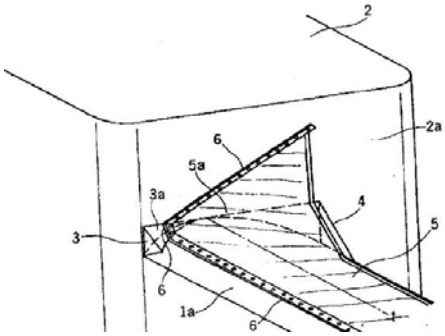
4.2. Brevets européens valides ou pouvant être validés sur la France

4.2.1 Structure de montage pour un barrage gonflable

Brevet **EPS24 805** déposé le 27/07/92 par BRIDGESTONE CORP. sous priorité JP du 22/07/91

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention concerne le montage d'un barrage à membrane flexible gonflable sur la surface supérieure (la) d'une digue s'étendant entre les remblais (2) d'une étendue d'eau, la surface supérieure étant de forme courbée dans sa section transversale. Le barrage à membrane est amélioré sans qu'il n'y ait besoin de prévoir une base située de manière adjacente à la digue et s'étend sur la largeur entre l'étendue d'eau en le positionnant aux intersections respectives de la surface supérieure (la) et des surfaces inclinées des remblais (2a) sur le côté amont du sommet (l) d'un raccord (3). Ce raccord est un corps de forme tétraédrique ayant une surface courbée prenant appui sur le sommet. Ses surfaces restantes sont plates et comportent une surface supérieure (3a) s'étendant entre le sommet et la digue. Une de ses surfaces est prévue pour venir en butée sur la surface inclinée (2a) des remblais respectifs. Ces deux surfaces comportent un côté courbé qui est commun à la surface triangulaire courbée. L'arête de pointe amont de la pente (5a) d'un barrage à membrane flexible gonflable (5) est fixée le long du côté amont de la surface supérieure (la) et s'étend le long du raccord et sur la surface inclinée du remblai (2a) auquel il doit être fixé.



Ce brevet comporte trois revendications indépendantes (revendication 1, 6 et 9).

La première revendication est établie comme suit :

> « Paire de flancs de raccordement (3) disposés à des endroits situés dans une masse d'eau et où une surface arrondie (1a) de crête de barrage rencontre un (des) bajoyer(s) opposé(s) (2) à l'endroit de lignes d'intersection respectives entre cette surface et ces derniers, chacun desdits flancs de raccordement de ladite paire de ces flancs (3) étant un corps enforme de tétraèdre comportant des première, deuxième et troisième faces plates triangulaires et une quatrième face triangulaire qui est courbée de manière à s'adapter à la courbure de la surface de crête (la) du barrage et comporte un bord placé ou devant être placé à l'endroit de la ligne d'intersection entre la surface de crête (1a) et le bajoyer correspondant (2), les première et deuxième faces plates triangulaires comportant chacune un bord courbé adapté à la courbure de la surface de crête du barrage et un bord rectiligne commun, et la deuxième face plate triangulaire (3a) étant inclinée par rapport à la quatrième face triangulaire pour lui permettre de porter contre le bajoyer. »

La deuxième revendication indépendante est établie comme suit :

«Structure de barrage flexible, de hauteur variable, comprenant un barrage (l) s'étendant en travers d'une masse d'eau entre une paire de bajoyers (2) et comportant une crête de section transversale courbée, un flanc de raccordement (3) selon l'une quelconque des revendications précédentes étant placé sur le côté d'amont du barrage, à des endroits où la surface de crête (3) du barrage (l) et les bajoyers respectifs s'intersectent, et sur lequel est disposé un déversoir (5) qui est formé par une membrane flexible gonflable qui s'étend dans une première région de bord, le long de la surface (la) de crête du barrage, à laquelle cette membrane est fixée, et dans des deuxième et troisième régions de bord sur la surface inclinée (2a) desdits bajoyers à laquelle elle est fixée, et comprenant des régions de bord entre la première région de bord et les deuxième et troisième régions de bord s'étendant respectivement sur les premières faces triangulaires des flancs de raccordement (3). »

La troisième revendication indépendante est établie comme suit :

« Procédé pour réaliser un déversoir (5), formé par une membrane flexible, sur la surface de crête (la) d'un barrage (l) s'étendant entre des bajoyers opposés (2) des rives d'une masse d'eau, la surface de crête ayant une section transversale courbée, ce procédé consistant à former, à l'endroit de la ligne d'intersection entre la surface de crête (l a) du barrage et la surface inclinée (2a) de chaque bajoyer (2), un flanc de raccordement (3) tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 5, à placer sur la surface de crête du barrage un déversoir (5) formé par une membrane flexible gonflable et constitué par une feuille de caoutchouc qui est repliée sur elle-même de manière que son extrémité ouverte se trouve sur le côté d'amont de la crête du barrage et qui s'étend sur les flancs de raccordement (3) jusque sur les surfaces (2a) des bajoyers (2) et à fixer le déversoir (5) formé par une membrane flexible gonflable à la crête (la) et aux surfaces respectives (2a) de bajoyers à l'endroit des trois bords de la membrane flexible gonflable ou au voisinage immédiat de ces bords. »

Ce brevet, s'il est régulièrement entretenu, tombera dans le domaine public le 27/07/2012.

4.2.2 Digue de retenue d'eau

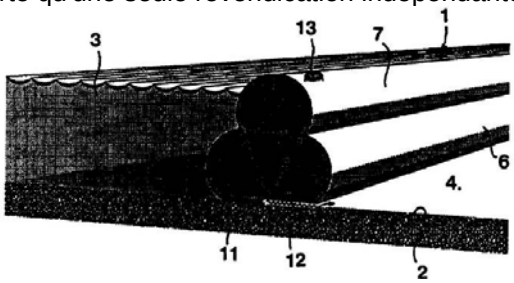
Brevet **EP 813 633** déposé le 29/02/96 par MELIN sous priorité SE du 03/03/95.

RESUME DE L'INVENTION :

Une digue protectrice de retenue d'eau est constituée d'un élément venant buter contre une surface sur laquelle s'exerce une force verticale de sorte que celui-ci soit poussé et ancré contre ladite surface. L'élément digue présente un premier bord latéral long tourné vers un côté eau et un bord latéral long opposé tourné vers un côté sec de la digue protectrice.

Entre la surface (2) et l'élément digue (1), on a prévu un moyen (12) s'étendant axialement le long de la digue, tel qu'un matelas, dont le rôle est de drainer le liquide susceptible de s'échapper du côté eau, par le dessous de l'élément, de sorte que la zone située côté fond de l'élément s'étendant depuis le bord latéral côté eau du moyen de drainage (12) le plus près du côté eau jusqu'au côté sec, soit maintenue à la pression atmosphérique ou à une pression proche de celle-ci et qu'une différence de pression maximum soit obtenue par rapport à la pression hydraulique maintenant l'étanchéité de la digue de protection contre la surface.

Ce brevet ne comporte qu'une seule revendication indépendante établie comme suit :



« Digue protectrice de retenue de liquide, comprenant un dispositif de barrage mobile sous la forme d'une enveloppe souple gonflée (1) qui comporte un moyen (13) de remplissage et de vidange de l'enveloppe et en option une jupe flexible, en butée contre une surface, par exemple le sol, une force verticale agissant sur ledit dispositif de barrage afin de presser et d'ancrer celui-ci contre la surface, ladite digue protectrice ayant un premier grand côté tourné vers une région inondée et un deuxième grand côté opposé tourné vers une région sèche, caractérisée en ce que, entre la surface (2) et la dite enveloppe (1), sont placés des moyens (l2,12 12", 12') s'étendant axialement le long de la digue et dont la fonction est de drainer et évacuer le liquide de la retenue qui fuit éventuellement sous l'enveloppe à partir de la retenue, de façon à maintenir la région de la face inférieure de l'enveloppe en communication avec la région sèche à la pression ou près de la pression atmosphérique afin d'obtenir une différence de pression maximale par rapport à la pression hydrostatique qui maintient la digue de protection appliquée de façon étanche contre la surface, et en ce que les moyens de drainage comprennent un élément de grande surface (12, 12,12", 12'), par exemple une nappe ou un panneau comportant des canaux ou des vides entre ses faces supérieure et inférieure par lesquels le liquide peut passer dans la direction allant d'un grand côté de l'élément vers le côté opposé, l'élément ayant une certaine épaisseur de sorte que la partie de l'enveloppe posée au-dessus de l'élément est à un niveau au-dessus de la surface (2). »

Ce brevet s'il est régulièrement entretenu, tombera dans le domaine public le 29/02/2016.

4.2.3 Dispositif de raccordement pour structures composites renforcées

Brevet **EP 846205** déposé le 21/08/96 par OBERMEYER.

RESUME DE L'INVENTION :

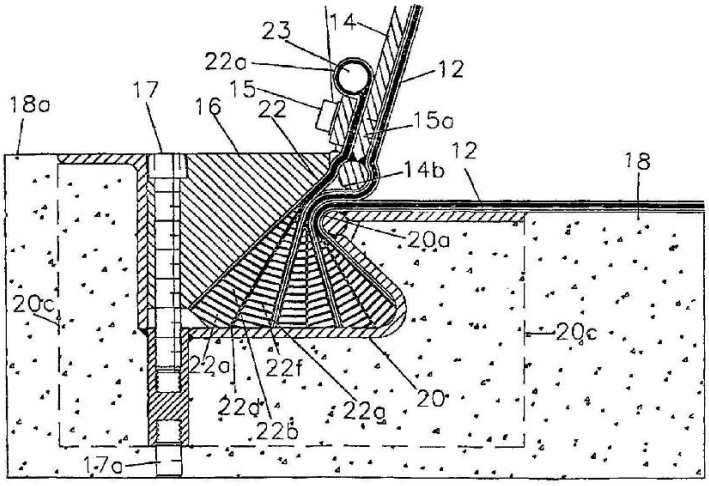
L'invention concerne une vessie gonflable ayant un ou plusieurs bords en forme de coin. Les coins peuvent être en métal ou en caoutchouc, par exemple, attachés sur des surfaces opposées à des couches renforcées contiguës au bord de la vessie. Les bords peuvent être retenus par une surface de support ou un mécanisme de serrage situés dans une cavité.

Les extrémités des tuyaux peuvent être munies de coins pour faciliter leur accouplement. L'invention concerne également une roue et un dispositif de liaison.

Ce brevet comporte deux revendications indépendantes (revendication 1 et revendication 11).

La première revendication est établie comme suit :

« Vessie gonflable en élastomère (12) pour barrages gonflables incluant des moyens d'attache (12e, 12g, 12), 12k), caractérisée en ce que ladite vessie (12) comprend une pluralité de feuilles en élastomère renforcées placées en couches superposées de façon à créer une enveloppe gonflable ayant des bords opposés définissant une ouverture, au moins un desdits bords étant enforme de coin (12a, 12b) et formant lesdits moyens d'attache solidaires du bord et ledit bord en forme de coin comprenant au moins un élément de coin en élastomère (12e, 12g) entre des couches adjacentes desdites feuilles renforcées, contenant des câbles de renforcement (l2d, 12/, 12h), dans laquelle ledit élément enforme de coin a une section transversale triangulaire et comporte des surfaces latérales opposées liées auxdites couches adjacentes. »



La revendication 11 est établie comme suit :

«Procédé de fixation de la vessie gonflable (12) selon la revendication 1 à une structure de support (16, 32), comprenant les étapes de :

- (a) préparation d'une vessie gonflable en élastomère (12) qui comprend une pluralité de feuilles en élastomère renforcées mutuellement superposées en couches de façon à créer une enveloppe gonflable ayant des bords opposés qui définissent une ouverture, au moins un desdits bords étant en forme de coin (12a, 12b) pour constituer un moyen d'attache intégré (12e, 12g, 12j,12k);
- (b) création d'un logement allongé dans ladite structure de support " et (c) fixation des dits moyens d'attache (12e, 12g, 12j, 12k) de ladite vessie dans ledit logement.»

Ce brevet s'il est régulièrement entretenu tombera dans le domaine public le 21/08/2016

4.2.4 Porte d'écluse flexible

Brevet **EP1456479** déposé le 09/12/2002 par UNIVERSITY COURT OF GLASGOW

RESUME DE L'INVENTION :

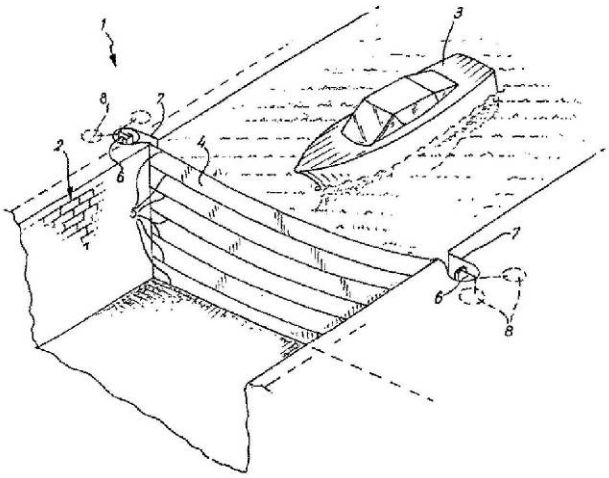
La présente invention concerne une porte d'écluse flexible qui est conçue pour retenir de l'eau dans un port, un canal ou un estuaire de rivière.

Cette porte est de construction et d'entretien économiques et comprend un système de commande de porte qui permet de commander à la demande le déplacement d'une membrane flexible entre une position ouverte et une position fermée. La présente invention concerne également une barrière de contrôle de crue flexible qui comprend une ou plusieurs desdites portes d'écluse flexibles.

Ces portes sont déployées côte à côte et offrent une protection économique contre les crues au niveau d'une zone susceptible de subir des flots.

Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les membranes flexibles des portes d'écluse flexibles peuvent être conservées sur le lit du cours d'eau, offrant alors un libre accès aux bâtiments de mer.

La première revendication est établie comme suit:



« Vanne flexible (1) pour retenir l'eau dans un port, un canal ou un estuaire (2) comprenant une membrane flexible (4) comportant une première surface et une deuxième surface, un mécanisme d'actionnement de porte qui déplace la vanne flexible (1) entre une position fermée et une position ouverte, un évidement (7) situé de chaque côté de la membrane flexible (4) et un joint latéral (9) associé à chaque évidement (7) caractérisé en ce que les joints latéraux (9) sont situés de sorte que lorsque la vanne flexible (1) se trouve dans la position fermée, la pression hydraulique associée à l'eau retenue agit contre la première surface de la membrane flexible (4) de manière à maintenir la deuxième surface de la membrane flexible (4) contre les joints latéraux (9), formant ainsi le joint étanche à l'eau requis le long des côtés de la vanne flexible (1). »

Ce brevet s'il est régulièrement entretenu tombera dans le domaine public le 09/12/2022.

4.2.5 Digue mobile

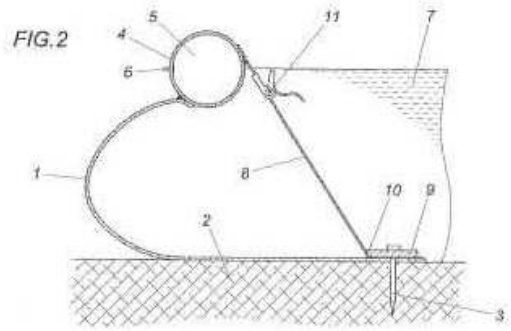
W02009033195-EP2198090 déposée le 14/09/2007 par SCHWARZMAYR.

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention concerne une digue mobile, servant notamment à protéger contre les crues et présentant une paroi de retenue (1) plate et flexible, dont un grand côté est relié bloqué en déplacement avec le fond de la digue au moyen d'éléments de fixation, l'autre grand côté étant maintenu à niveau, à distance du fond de la digue (2), au moyen d'un corps flottant (4) relié à la paroi de retenue (1).

Ledit corps flottant (4) est relié mobile avec le fond de la digue (2) par l'intermédiaire d'éléments de traction (8) s'étendant sur le côté de la paroi de retenue faisant face à l'eau et la paroi de retenue (1) s'étend en partie le long du fond de la digue.

Afin de réunir des conditions de montage avantageuses, les éléments de traction (8) et la partie de paroi de retenue qui s'étend sur le fond de la digue sont reliés avec le fond de la digue, bloqués en déplacement, par l'intermédiaire d'éléments de fixation communs.



La procédure européenne a été abordée le 22/02/2010. La notification d'examen n'a pas à ce jour été établie, cette demande de brevet est pendante devant l'office européen des brevets. Cette demande semble toutefois éloignée du principe de barrage gonflable généralement utilisé pour une application d'ouvrage mobile de régulation en rivière.

4.3 Demandes internationales pouvant donner lieu à un droit sur la France si la phase européenne est engagée en temps utile

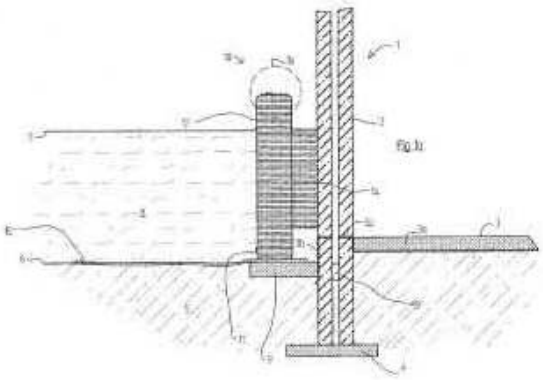
4.3.1 Barrière gonflable de protection contre les inondations

W02009093038 déposée le 23/01/09 sous priorité GB du 24/01/08 par CINTEC INTERNAT LTD et JAMES PETER.

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention concerne un dispositif gonflable de défense contre les inondations ou de type barrage, la structure de défense contre les inondations ou de type barrage comprenant au moins une chambre gonflable (12) qui présente une face avant (13), une face arrière (15) et une pluralité d'éléments (18) reliés entre eux s'étendant entre les faces avant et arrière.

Ce système forme une structure gonflable rigide qui est utilisée comme défense contre les inondations et constitue un réservoir de retenue d'eau. Cette demande de brevet comporte trois revendications indépendantes (revendication 1, revendication 17 et revendication 18).



La revendication 1 est établie comme suit :

> «A flood defence or water dam including or comprising at least one inflatable chamber providing a front surface and a rear surface, the front and rear surfaces extending generally parallel and being interconnected by a multiplicity of interconnecting members extending across the chamber, and at least one of the surfaces providing a water barrier. "

La revendication 17 est établie comme suit :

> "A series of chained polygonal chambers as claimed in claim 14, connected together at their edges to form a continuous elongate watertight flood defence wall, or a series of reservoirs"

La revendication 18 est établie comme suit :

> « A water dam comprising a plurality of chambers as claimed in any one of claims 1 to 9, formed by interconnecting said chambers to form a reservoir for water, optionally having a water resistant base member".

L'entrée en phase européenne n'a pas été effectuée de sorte que la demande est actuellement réputée retirée. Cependant, les titulaires disposent d'un délai supplémentaire pour aborder cette phase. Cette demande semble toutefois éloignée du principe de barrage gonflable généralement utilisé pour une application d'ouvrage mobile de régulation en rivière.

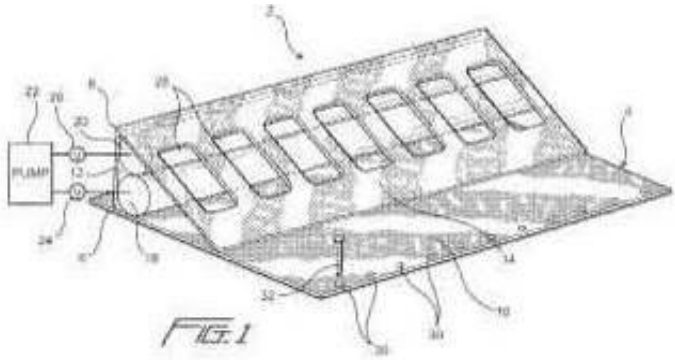
4.3.2 Paroi anti-inondation

W02009148434 déposé le 2/06/2008 par SALEMIE BERNARD.

RESUME DE L'INVENTION :

L'invention porte sur une paroi anti-inondation gonflable portable, qui est caractérisée par une feuille de matière plastique synthétique repliée sur elle-même de façon à définir une chambre entre des parties inférieure, arrière et avant de la feuille, et à l'intérieur de laquelle au moins une vessie gonflable est fixée.

Lorsque la vessie est gonflée, la partie arrière de la feuille est érigée dans une position verticale qui empêche l'eau de passer au-delà de la feuille. La partie avant contient, de préférence, une pluralité d'ouvertures de façon à permettre à l'eau d'entrer dans la chambre. Le poids de l'eau sur la partie inférieure de la feuille sert à maintenir la paroi en place. Une pluralité de ces parois peuvent être reliées bout à bout afin de construire une paroi de la longueur désirée.



Cette demande de brevet comporte une revendication indépendante établie comme suit:

"A portable flood wall, comprising (a) a generally rectangular sheet of flexible material, said sheet having bottom, rear and front portions defined by parallel fold Zines, said front portion extending from said rear portion to an intermediate location on said bottom portion and being connected therewith to define a chamber; and (b) at least one bladderformed offlexible material connected with said rear portion within said chamber, said bladder extending longitudinally and parallel to said fold Zines, whereby when said bladder is inflated, said rear portion is erected to a vertical condition and the chamber has a generally triangular cross-sectional configuration to define a wall section for retaining water, with the weight ofthe water on the bottom portion holding the wall section in place "

Cette demande est présentée du fait qu'elle a été identifiée par le CPI en décembre 2010. Cependant, la procédure européenne n'a pas été abordée, le délai est arrivé à expiration le 02/01/2011 sans restauration possible.

5. Conclusion

La recherche d'antériorité a été effectuée en **décembre 2010** et n'intègre pas les demandes de brevets déposées mais non encore publiées au-delà de cette date. Pour autant, la rédaction du « guide » s'est basée sur les conclusions de cette recherche.

Dans le cadre de notre étude, portant sur les barrages gonflables dont la technologie est déjà relativement ancienne et sur les barrages gonflables à volets métalliques dont le premier brevet remonte à 1988, apparaissent comme libres de droit :

- le principe du barrage gonflable implanté dans un cours d'eau, que celui-ci soit gonflé à l'air ou à l'eau, que son implantation en plan soit rectiligne ou courbe ;
- le principe d'un clapet métallique actionné par un élément gonflable situé « sous » celui-ci, l'ensemble étant rendu solidaire et étanche par mise en place d'une barre de serrage ;
- le principe d'ancrage de la bouchure en pinçant cette dernière entre deux profilés métalliques, avec une ligne d'ancrage remontant sur les bajoyers du barrage.

Sont en revanche opposables à ce jour sur le territoire français :

- le principe de montage d'un barrage à membrane flexible gonflable suivant procédé Bridgestone, concernant l'implantation d'un barrage gonflable sur une crête de seuil courbe, décrite dans le présent rapport au § 4.2.1. jusqu'au 27/07/2012 ;
- l'articulation en caoutchouc, façonnée avec le coussin suivant procédé Obermeyer décrite dans le présent rapport au § 4.2.3. jusqu'au 21/08/2016.

Les autres brevets ou demandes de brevets décrites ci-avant, sans directement correspondre aux technologies actuellement utilisées, peuvent comporter un ou plusieurs éléments qui pourraient faire antériorité et restent de ce point de vue notables dans le cas d'optimisation ou de modifications des procédés par les principales sociétés en charge de l'étude ou de la mise en œuvre des barrages gonflables.

A défaut de bénéficier d'un droit d'exploitation de l'invention négocié par avance avec le déposant, l'utilisation par VNF, directement ou par l'intermédiaire de ses prestataires, de procédés brevetés pendant la période de validité de ceux-ci (20 ans) l'expose à des éventuels recours en contrefaçon.

La conséquence de ces recours peut se traduire par une indemnisation financière du titulaire du brevet et par la demande de destruction des matériels contrefaits à charge de VNF et/ou de ses prestataires.

Annexe 3.2 : Schémas de contractualisation

(sur la base du Code des Marchés Publics actualisé selon le décret du 25/08/2011)

SOMMAIRE

1. Introduction 330

2. Contexte et construction de l'analyse juridique 331

2.1 Contexte réglementaire propre à VNF 331

2.2 Contexte de l'opération « barrages gonflables » 331

2.3 Spécificités des barrages gonflables 331

2.4 Construction de l'approche juridique 332

3. Partie A - Détermination du processus 333

3.1 Les processus de maîtrise d'ouvrage prévus par la loi MOP 333

3.1.1 Schéma 1 : processus conception-réalisation 333

3.1.2 Schéma 2 : processus classique loi MOP 335

3.1.3 Schéma 2 bis : processus consultation anticipée 336

3.2 La notion d'allotissement 337

3.3 Le choix du processus 338

4. Partie B - Détermination des procédures 339

4.1 Procédures de consultation des opérateurs économiques 339

4.1.1 Le cas de l'ATMO 339

4.1.2 Le cas de la Maîtrise d'œuvre 339

4.1.3 Le cas des Entreprises de travaux 340

4.2 Cas particulier : procédure d'appel d'offres avec variante(s) 341

4.2.1 Le cas de la Maîtrise d'œuvre 341

4.2.2 Le cas des Entreprises de travaux 342

4.2.3 La question de l'allotissement 343

5. Partie C - Choix du Processus 344

5.1 Etape 1 : DPC 344

5.2 Etape 2 : Programme 344

5.3 Etape 3 : Détermination du processus (art. 2 loi MOP) 344

6. Partie D : Choix de la procédure 345

6.1 Recrutement du Maître d'Œuvre 346

6.2 Recrutement des entreprises de travaux 347

6.2.1 Procédures particulières où l'entreprise apporte son savoir-faire dans la conception 347

6.2.2 Procédures « classiques », SANS ALLOTISSEMENT 348

6.2.3 Procédures « classiques », AVEC ALLOTISSEMENT 349

Annexe 1 : Processus de consultation anticipée 350

Annexe 1.1 Déroulement de la procédure 350

Annexe 1.2 Dispositions réglementaires 354

Annexe 1.3 : Dispositions de l'arrêté du 21 décembre 1993 (extrait) 355

Annexe 2 : Processus « Conception Réalisation » 357

Annexe 2.1 : Jurisprudence CE du 28 déc. 2001 357

Annexe 2.2 : Source Direction des Affaires Juridiques (30 jan.09) 360

1. Introduction

L'annexe 3 traite d'une analyse juridique portant sur deux thématiques :

- la propriété intellectuelle et/ou industrielle,
- les schémas de contractualisation.

Les attendus pour cette phase sont les suivants : (extrait du cahier des charges)

> « L'analyse sur les schémas de contractualisation consiste à étudier de manière exhaustive, avec l'aide de juristes spécialisés, les différentes possibilités d'organisation des consultations d'entreprise pour stimuler la concurrence, en conformité avec la loi MOP du 12 juillet 1985 et avec le code des marchés publics: appel d'offre classique, avec ou sans variante, marché négocié, procédures de conception-réalisation et de concours de Maîtrise d'Œuvre, allotissement (marché de fourniture, d'une part, de travaux, d'autre part, pour la pose et le génie civil) … Chaque schéma de contractualisation sera décrit et les avantages et inconvénients de chaque solution feront l'objet d'une analyse qui débouchera sur des préconisations claires et argumentées en matière de commande publique. L'analyse portera sur le barrage complet (et pas uniquement sur l'aspect bouchure), intégrant donc le génie civil et éventuellement le cas des barrages mixtes (avec une bouchure type clapet par exemple). »

Ce document porte uniquement sur la deuxième partie de l'approche juridique attendue et traite de la problématique des « schémas de contractualisation ».

RESSOURCES MOBILISEES

Pour mener à bien cette phase d'étude, BRL ingénierie s'est associé les services du **Cabinet Clément & Associés**, basé à Lyon.

Les interventions du Cabinet CLEMENT & Associés sont régies par l'agrément prévu par l'arrêté du 19 décembre 2000 relatif à la pratique du Droit à titre accessoire. Le personnel affecté aux missions du Cabinet répond aux exigences de cet arrêté.

NOTA IMPORTANT

LES RECOMMANDATIONS QUI SUIVENT NECESSITENT LA CONNAISSANCE DE PRE-REQUIS INDISPENSABLES, EN PARTICULIER : DEFINITION DES PROCEDURES DE MARCHES PUBLICS, DIFFERENCES ENTRE OPTIONS ET VARIANTES, NOTION D'ALLOTISSEMENT, CONTENU DES MISSIONS DE MAITRISE D'ŒUVRE

2. Contexte et construction de l'analyse juridique

2.1 Contexte réglementaire propre à VNF

VNF est un établissement public de l'Etat, à caractère industriel et commercial. En conséquence, il est soumis aux dispositions législatives et réglementaires visant les maîtres d'ouvrage public, en particulier :

- la loi n°85-704 du 12 juillet 1985 (loi MOP) et ses textes d'application ;
- le Code des Marchés Publics (CMP, dans sa version issue du décret n°2011-2027 du 29 décembre 2011 transposant la Directive européenne n°2004-18 du 31 mars 2004 pour les Pouvoirs Adjudicateurs (première partie du Code) en application de l'article 48 de ses statuts modifiés au 22 janvier 2009 ;
- le Code du travail pour les dispositions relatives à la désignation d'un Coordonnateur de sécurité et de protection de la santé.

2.2 Contexte de l'opération « barrages gonflables »

Dans ce contexte réglementaire contraint, VNF s'interroge sur les différentes natures de montages contractuels susceptibles d'optimiser la consultation des prestataires potentiels en vue de la mise en place de barrages gonflables.

Il s'agit précisément de mieux connaître ces technologies, leur applicabilité aux besoins de VNF, leurs limites et les moyens de contractualiser avec les Maîtres d'Œuvre, les Entreprises de travaux et les Fournisseurs.

Cette demande fait suite à une première expérimentation effectuée en 2005 sur la Meuse, par la mise en place d'une bouchure gonflable particulière, équipée de volets métalliques (BGVM).

Cette technologie a été reconduite par VNF sur deux ouvrages dont les marchés de travaux ont été confiés aux attributaires en procédure d'appel d'offres ouvert en 2009 sur la Saône.

2.3 Spécificités des barrages gonflables

Les travaux de mise en place de ces barrages font appel à deux thématiques qui doivent s'analyser de façon complémentaire :

- la fourniture et la pose des bouchures gonflables ;
- les travaux d'adaptation au site (c'est-à-dire les travaux de génie civil associés ainsi que la partie électrotechnique).

La spécificité de ces barrages semblait résider dans le fait que certains « dispositifs constructifs ou modalités pratiques d'exécution » pouvaient relever de brevets (une dizaine recensée à ce jour).

Pour autant, ce n'est pas tant la question du brevet que celle du « savoir-faire » entreprise qui se pose pour certains types de barrages gonflables, BGVM en particulier[12].

Si la fourniture des bouchures gonflables relève actuellement d'un savoir-faire particulier de la part d'entreprises, il n'en est pas de même en ce qui concerne les travaux d'adaptation au site qui ne présentent pas, eux, de technicité particulière.

2.4 Construction de l'approche juridique

L'objectif de cette approche est d'évaluer les montages contractuels potentiels sous lesquels l'établissement public VNF peut exercer ses prérogatives de maîtrise d'ouvrage publique en vue de la mise en œuvre de barrages gonflables en dehors du Partenariat Public Privé qui ne fait pas partie du champ du présent document.

Afin d'aboutir à des recommandations claires, sans pour autant fermer définitivement des possibilités de contractualisation, il est proposé de construire la réflexion de façon progressive en partant de l'initialisation de l'opération jusqu'à la passation des marchés de travaux.

Le document se compose de quatre parties :

- partie A - détermination du processus parmi ceux offerts par la loi MOP ;
- partie B - détermination des procédures de consultation du Code des Marchés Publics ;
- partie C - méthode simplifiée permettant de choisir le processus adapté à son opération ;
- partie D – analyse comparative des différentes procédures envisageables.

Des éléments relatifs aux processus de consultation les moins pratiqués par les services opérationnels de VNF et décrits dans les chapitres qui suivent sont joints en annexes 1 et 2 au rapport.

[12] Le principe du BGVM est libre de droit et peut être reproduit. Mais le développement du procédé a été porté pendant vingt ans par un unique fournisseur : celui-ci dispose d'une avance sur la concurrence qui se prolonge plusieurs années au-delà de la vie du brevet.

3. Partie A - Détermination du processus

Le présent chapitre s'inscrit dans l'obligation du Maître d'Ouvrage de « déterminer le processus de réalisation de l'ouvrage » lors de l'initialisation de l'opération.

Cette obligation figure à l'article 2 de la loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage (loi n°85-704 du 12 juillet 1985 modifiée).

3.1 Les processus de maîtrise d'ouvrage prévus par la loi MOP

La loi MOP envisage deux processus nettement contrastés :

- soit le projet requiert la présence d'une entreprise lors de la phase de conception (schéma 1) à l'exclusion de toute maîtrise d'œuvre,
- soit tout ou partie du projet peut être conçu par une équipe de Maîtrise d'Ouvre, qui élaborera un projet sur la base duquel sera engagée la consultation des entreprises de réalisation (schéma 2).

3.1.1 Schéma 1 : processus conception-réalisation

Ce schéma porte le nom de « conception-réalisation ».

Selon l'article 37 du Code des marchés publics :

Il ne peut être recouru à « un marché de conception-réalisation, quel qu'en soit le montant, que si un engagement contractuel sur un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique ou **des motifs d'ordre technique** rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage.».

Le Code des marchés publics explicite la notion de « motifs d'ordre technique » :

> Les motifs d'ordre technique mentionnés à l'alinéa précédent sont liés à la destination ou à la mise en œuvre technique de l'ouvrage. Sont concernées des opérations dont la finalité majeure est une production dont le processus conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ainsi que des opérations dont les caractéristiques, telles que des dimensions exceptionnelles ou des difficultés techniques particulières, exigent de faire appel aux moyens et à la technicité propres des opérateurs économiques.

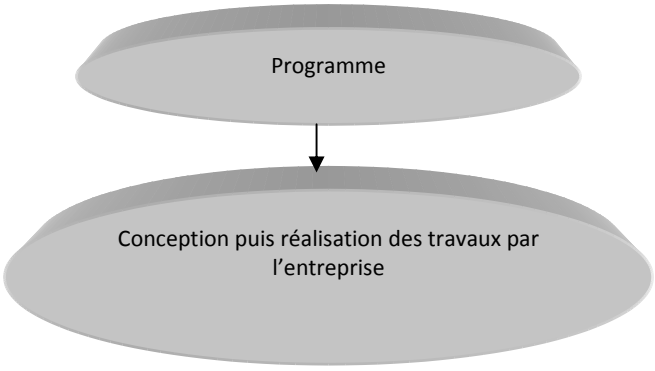


Schéma 1

La **nécessité technique** requise par le Code des marchés publics est un point dont la justification expose le Maître d'Ouvrage à **un risque non négligeable de contentieux**.

En effet, il convient de démontrer, sur la base d'un argumentaire technique, que la présence de l'entreprise est indispensable pour concevoir le dispositif.

A contrario, cela revient à vérifier qu'il n'existe pas de Maîtrise d'Œuvre capable de concevoir de façon autonome de tels dispositifs.

Il ne faut pas perdre de vue que la compétence de « Maîtrise d'Œuvre Hydraulique » est bien développée en France et en Europe, comme en témoigne la réalisation de nombreux ouvrages complexes avec présence d'une équipe de maîtrise d'œuvre indépendante.

La présence d'un process bénéficiant de brevet ou d'un savoir-faire particulier n'est pas suffisante à elle seule pour démontrer que ces entreprises sont les seules à disposer de la capacité à développer la conception de ce type d'ouvrage.

Une telle procédure en contrat global (conception-réalisation) **présente une fragilité juridique** sauf à démontrer la nécessité technique précitée.

Il convient toutefois d'analyser les différentes situations au cas par cas. Il faut prendre soin de justifier les « *motifs d'ordre technique (qui) rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage* ».

Selon le cas, les arguments développés pourraient suivre les axes suivants :

- l'entreprise maîtrise seule la technicité permettant de réaliser le barrage (point à démontrer à chaque fois) ;
- la configuration du site nécessite la participation de l'entreprise à la conception (dimension exceptionnelle du barrage par exemple, modalités particulières de mise en œuvre du fait de l'obligation de maintien de la voie navigable en service) ;
- etc.

La notion de « délai » n'est pas au nombre des motivations techniques pouvant être produites (Cour Administrative d'Appel de Nancy du 5 aout 2004 « Commune de Metz » (n°01NC00110)), ni l'urgence (CE. 28 décembre 2001[13] : Conseil régional de l'ordre des architectes d'Auvergne n°221649).

En tout état de cause, l'absence d'un maître d'œuvre indépendant de l'entreprise peut nécessiter la mise en place d'une fonction « tierce partie » [14], à savoir un Assistant technique à Maîtrise d'Ouvrage. Cet ATMO, dont le rôle n'est défini par aucun texte, devra être le garant vis-à-vis du maître de l'ouvrage du respect du programme de conception tout au long du processus incluant la mise en service du barrage.

La mission qui lui serait confiée comprend l'assistance à la mise en forme du programme pour valoriser les aspects « performantiels », l'assistance au choix du concepteur-réalisateur selon les dispositions de l'article 69 du Code des marchés publics, puis le suivi, d'une part, de la conception des ouvrages et, d'autre part, de la réalisation de ceux-ci.

La procédure de conception-réalisation suit la procédure de l'appel d'offres restreint, avec sélection de candidats qui remettront une offre sur la base d'un Avant-projet. La remise d'offre fait l'objet d'une indemnisation.

[13] Voir jurisprudence en annexe 3 et fiche de la Direction des Affaires Juridiques

[14] A la décision des Services de VNF, qui indiquent qu'ils peuvent éventuellement assurer le pilotage technique de leurs opérations

3.1.2 Schéma 2 : processus classique loi MOP

Ce schéma décrit un processus classique. Il met en place des compétences de Maîtrise d'Œuvre pour la conception d'un projet**.**

Les entreprises sont ensuite consultées sur la base de ce projet. Dans ces conditions, il ne saurait y avoir de confusion entre la fonction de « Maîtrise d'Œuvre » et celle de « l'entreprise » (application de l'article 7 de la loi MOP).

La chronologie d'un tel processus est la suivante :

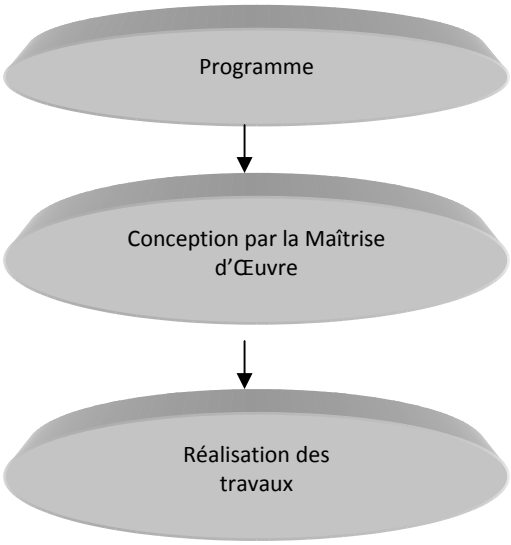


Schéma 2

Dans un tel montage, la consultation des entreprises est effectuée sur la base d'un projet (étape PRO selon les termes de l'annexe III de l'arrêté du 21 décembre 1993) défini avec toute la précision exigée par l'article 5 du Code des marchés publics.

Nota : le fait que certaines dispositions techniques relatives aux bouchures gonflables puissent être couvertes par des brevets peut imposer au maître d'œuvre d'être vigilant dans la description de ces parties d'ouvrage pour ne pas risquer la contrefaçon. Il conviendra dans les pièces marchés des concepteurs de prévoir une clause permettant de protéger le Maître d'Ouvrage contre tout risque de recours. Cette clause pourrait être rédigée comme suit : « le concepteur s'engage à garantir le Maître d'Ouvrage contre tout risque de recours en contrefaçon et garantit le caractère original de sa conception pour laquelle il détient l'ensemble des droits de propriété intellectuelle ».

Les éléments de conception touchant au savoir-faire des entreprises pourraient être décrits « soit en termes de performances, soit d'exigences fonctionnelles » (art. 6 CMP).

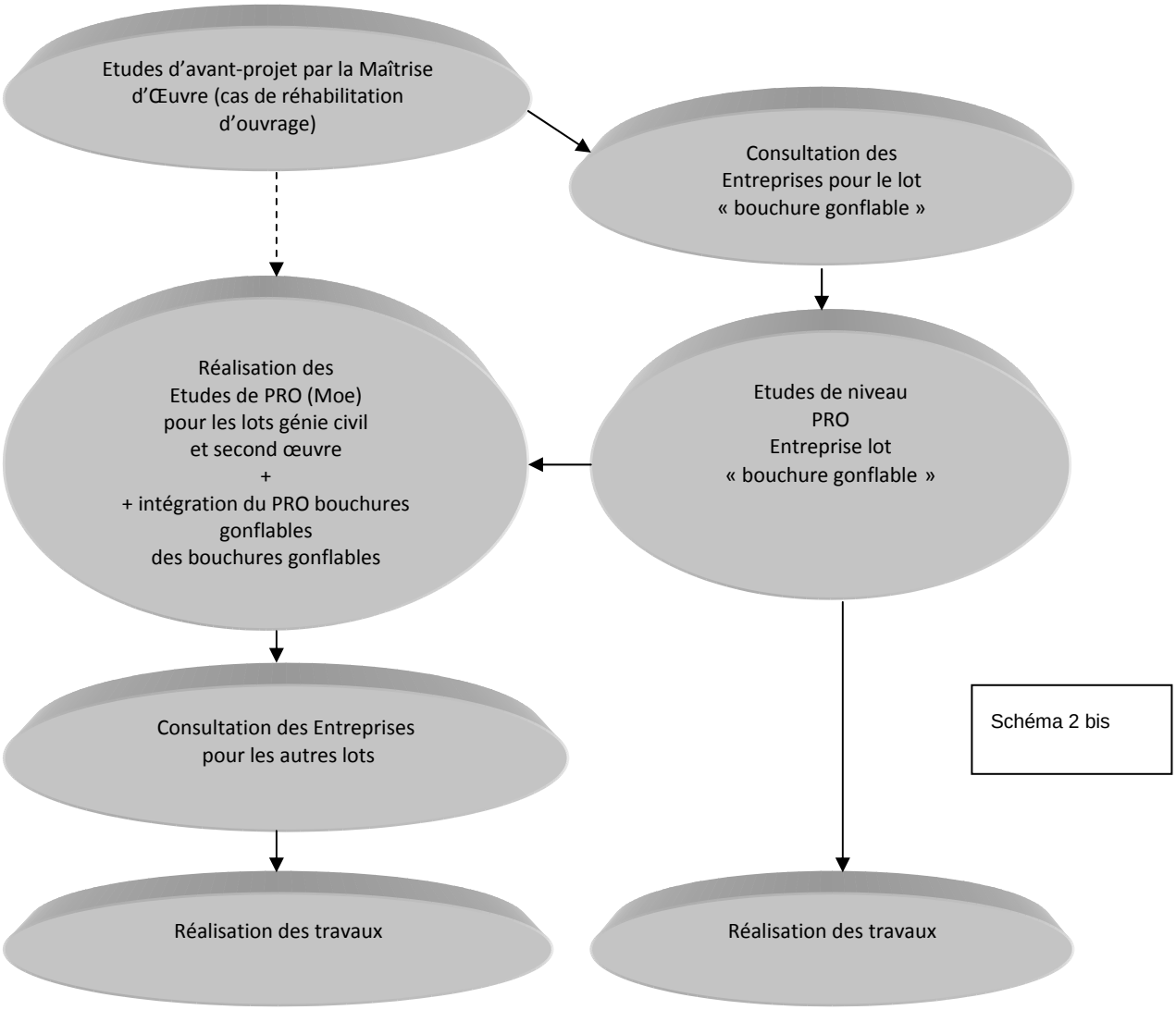
Le Maître d'Œuvre pourrait également décrire une solution non couverte par un brevet, et ouvrir aux variantes (exemple : les ancrages).

3.1.3 Schéma 2 bis : processus consultation anticipée

Ce schéma correspond au cas particulier de la consultation anticipée : **la présence d'un Maître d'Œuvre n'interdit pas le recours à l'ingénierie de conception des entreprises** pour les lots pour lesquels les méthodes ou techniques de réalisation ou les produits industriels à mettre en œuvre impliquent l'intervention de l'entreprise dès l'établissement des avant-projets.

Il semble que la définition des bouchures gonflables réponde à cette situation[15]. En effet, le fait que plusieurs entreprises ont détenu ou détiennent des brevets sur ces bouchures démontre que le savoir-faire, à ce jour, a plutôt été développé par les entreprises et non par une ingénierie indépendante.

Pour ce type de situation, les pouvoirs publics ont prévu la possibilité de lancer des « consultations anticipées » (article 26 du décret n°93-1268 du 29 novembre 1993) sur la base d'études préliminaires (ouvrages neufs) ou d'avant-projet (réhabilitation) établies par un maître d'œuvre, l'entreprise du lot spécifique étant chargée de la conception portant sur des points particuliers de l'opération. La chronologie d'un tel processus est la suivante :



Dans le cas de la consultation anticipée, la question de l'allotissement sera déterminante.

15 A minima à court terme, le savoir faire de certaines technologies étant libre de droit depuis moins de 5 ans (cas du BGVM). Noter que la technologie du BG est quant à elle beaucoup plus ancienne et offre plus de liberté, mais reste en constante évolution de certains détails technologiques

3.2 La notion d'allotissement

La question de l'allotissement est transversale et concerne tous les processus précités. L'article 10 du Code des Marchés Publics pose **l'allotissement comme principe**. Pour autant, une dérogation est possible, mais doit nécessairement être justifiée[16] au risque d'un recours (CAA Lyon, 06 octobre 2011 SNSO).

Les services opérationnels de VNF indiquent que, pratiquement, les arguments récurrents permettant de déroger à l'allotissement lors d'opérations de reconstructions de barrages mobiles de navigation sont les suivants :

- « nécessité d'intervenir dans un délai réduit entre des périodes de crue » ;
- « imbrication des prestations génie civil/bouchure/électrotechnique ».

La pertinence des arguments exposés pour s'affranchir d'un allotissement dépend des situations propres à chaque opération et devra être examinée au cas par cas.

Attention : le souhait du Maître d'Ouvrage d'ouvrir aux variantes lors de la consultation de travaux n'est pas une condition suffisante pour justifier d'un non allotissement.

DANS LE CAS D'UNE CONSULTATION MOP CLASSIQUE :

La question de l'allotissement doit préalablement être décidée avant la consultation des entreprises.

L'existence de plusieurs lots sur le même site de barrage conduit à prévoir une mission de type OPC (Ordonnancement Pilotage Coordination) soit réalisée par VNF, soit confiée à un prestataire indépendant ou encore au Maître d'Œuvre de l'opération.

DANS LE CAS D'UNE CONSULTATION ANTICIPEE :

S'il est possible de démontrer que l'allotissement n'est pas possible, c'est l'ensemble du barrage qui devra être décrit de façon « performantielle » sur la base d'un PRO.

Lorsqu'un allotissement est retenu, deux lots (voire trois) pourraient s'envisager :

- le lot « équipement » correspondant aux bouchures gonflables et équipements associés ;
- le lot « génie civil » intégrant les adaptations sur site ;
- le lot « électrotechnique » (éventuel en fonction de son lien avec le lot équipement).

L'éventuelle autonomie du lot « bouchure gonflable » permettrait de traiter à part la consultation des opérateurs économiques. Une consultation anticipée des opérateurs économiques concernés pourrait s'envisager au moyen d'une procédure de consultation lancée sur la base d'un AVP établi par l'équipe de Maîtrise d'Œuvre.

Le lot « génie civil » (voire « électrotechnique ») ferait par la suite l'objet d'une consultation « classique » à l'appui d'un PRO finalisé par la Maîtrise d'Œuvre sur la base des éléments recueillis auprès du titulaire du lot « bouchure gonflable ».

Il est à noter que dans une telle configuration, une mission de type OPC devra être prévue, soit réalisée par VNF, soit confiée à un Maître d'Œuvre indépendant ou encore au Maître d'Œuvre de l'opération.

[16] « Le pouvoir adjudicateur peut toutefois passer un marché global, avec ou sans identification de prestations distinctes, s'il estime que la dévolution en lots séparés est de nature, dans le cas particulier, à restreindre la concurrence, ou qu'elle risque de rendre techniquement difficile ou financièrement coûteuse l'exécution des prestations ou encore qu'il n'est pas en mesure d'assurer par lui-même les missions d'organisation, de pilotage et de coordination. » (Art.10 CMP)

3.3 Le choix du processus

En conclusion de cette première partie, il apparaît que la détermination du processus doit permettre d'effectuer selon la nature de l'opération les choix suivants :

- y-a-t-il intérêt à associer l'entreprise à la conception de l'ouvrage ?

  La réponse négative à cette question conduit à un processus classique loi MOP.

  La réponse positive conduit à un processus de conception-réalisation ou de consultation anticipée. Dans tous les cas, cela guidera la définition du rôle à confier au Maître d'Œuvre ou à un ATMO ;

- y-a-t-il intérêt à associer l'entreprise de travaux à la maintenance de l'ouvrage ?

  La réponse positive conduit à un processus de **réalisation-maintenance** ou bien de **conception-réalisation-maintenance** si le processus de conception-réalisation est justifié. Dans les deux cas, le marché de travaux comporte des engagements de performance mesurables. Dans ce cas, il convient de prévoir un critère de coût global de l'offre ainsi qu'un ou plusieurs critères relatifs aux objectifs de performance (art. 73 CMP).

  De manière générale, la politique de VNF est d'obtenir un plan de maintenance au plus tard lors de la réception de l'ouvrage. Selon les Maîtres d'Ouvrage et Exploitants rencontrés pour l'élaboration de ce guide, la maintenance courante d'un barrage gonflable ne nécessite pas de compétences pointues ni de moyens importants. Par conséquent, l'association de l'entreprise de travaux à la maintenance d'un barrage gonflable ne paraît pas nécessaire, sauf par exemple en cas de moyens très limités dans les services de maintenance ou dans le cas du souhait de prévenir tout risque de contentieux durant le délai de garantie ;

- l'opération doit-elle faire l'objet d'un allotissement ?

  La réponse négative à cette question nécessite au préalable une justification vis-à-vis de l'article 10 du CMP (cf. chapitre 3.2).

  La réponse positive conduit à des aménagements du contrat des concepteurs quel que soit le processus, notamment pour ce qui concerne la coordination entre les lots techniques : le processus le plus cohérent est le processus de consultation anticipée.

4. Partie B - Détermination des procédures

4.1 Procédures de consultation des opérateurs économiques

4.1.1 Le cas de l'ATMO

Le **processus de conception-réalisation** s'affranchit de la désignation d'un Maître d'Œuvre, la partie conception étant confiée à l'entreprise en charge des travaux.

Il peut donner lieu à la **désignation d'un ATMO**, consulté suivant les dispositions classiques du Code des Marchés Publics : la procédure choisie est simplement liée au montant prévisionnel du contrat ou aux règles de passation propres à VNF.

4.1.2 Le cas de la Maîtrise d'œuvre

Pour les **processus classiques loi MOP** ou pour **le processus de consultation anticipée**, s'agissant d'opérations relevant du domaine de l'infrastructure, et en application de l'article 74-III-4 du CMP, VNF a le choix entre trois familles de consultation :

- soit VNF a besoin d'un premier rendu (de type « esquisse ») pour retenir le Maître d'Œuvre et la procédure à retenir ne peut être que **le concours** (avec anonymat) visé à l'article 70 du Code des marchés publics,

  Nous rappelons que le concours de Maîtrise d'Œuvre impose au Maître d'Ouvrage de réaliser l'ouvrage selon les dispositions de conception ayant amené au choix du lauréat.

  Il s'ensuit une rigidité dans le processus qui convient mal à la nécessaire adaptation du projet aux techniques de réalisation des entreprises.

  En particulier, il est à signaler une fragilité juridique[17] quant à la possibilité d'ouvrir aux variantes un projet dont la conception aurait été choisie par suite de concours ;

- soit VNF est dans la possibilité de retenir un Maître d'Œuvre sur la base d'une offre argumentée, et il est prévu dans ce cas de recourir à la procédure négociée dès lors que la condition de l'article 35 est remplie, du fait que :

  « la prestation de services à réaliser est d'une nature telle que les spécifications du marché ne peuvent être établies préalablement avec une précision suffisante pour permettre le recours à l'appel d'offres »[18].

  La procédure négociée est recommandée par la Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques (MIQCP) qui évoque « la primauté de la procédure négociée » (Fiche Médiations n°23 octobre 2011, page 4).

---

17 L'ouverture aux variantes reste possible mais ne doit pas remettre en cause les conditions d'organisation du concours et de la désignation du lauréat

18 Le recours à la procédure négociée ne peut être considéré comme systématique dans le cas d'une modernisation de barrage : il reste à justifier au cas par cas

Il est toutefois possible d'utiliser la procédure d'appel d'offres (ouvert ou restreint) « si les conditions de l'article 35 ne sont pas remplies. Dans ce cas, un jury composé dans les conditions définies au I de l'article 24 émet un avis motivé sur les candidatures et sur les offres. » En conséquence, le recours à l'appel d'offres doit lui aussi désormais être justifié.

Conduite de vigilance en cas de procédure négociée :

La procédure négociée requiert quelques points de vigilance permettant de justifier l'égalité de traitement des candidats tout au long de la procédure et en particulier :

- la confidentialité des échanges ;
- le respect des droits de propriété intellectuelle rattachés aux offres des candidats ;
- le respect des critères de choix ;

La procédure négociée n'est pas un marchandage, le prix n'est que le fruit de la négociation. Il s'agit par un échange de points de vue de préciser les paramètres du contrat tels que la méthodologie d'exécution de la mission (relation avec le Maître d'Ouvrage, fréquence de visites, démarche de reporting…), l'organigramme de l'équipe-projet, le périmètre d'intervention (liste non exhaustive) ;

- soit VNF n'est objectivement pas en mesure de définir seul et à l'avance les moyens techniques pouvant répondre à ses besoins, et, dans le seul cas de la réhabilitation des ouvrages, peut alors utiliser la procédure de dialogue compétitif.

  Dans ce cas, il convient de garder à l'esprit que les prestations demandées aux candidats à la mission de maîtrise d'œuvre ne peuvent être celles qui auraient pu être exigées dans le cadre de la procédure de concours (risque de requalification de procédure).

  La procédure de dialogue compétitif permet ainsi d'aider VNF à définir son besoin, mais en aucun cas ne peut permettre de discuter de solutions techniques. En tout état de cause, la procédure négociée offrira plus de souplesse.

Le **contrat de Maîtrise d'Œuvre devra être adapté si VNF retient le processus de consultation anticipée**. En effet, l'arrêté du 21 décembre 1993 prévoit dans ce cas que le Maître d'Œuvre réalise des « missions spécifiques » comme définies à l'annexe IV de l'arrêté précité reproduite en annexe.

4.1.3 Le cas des Entreprises de travaux

Quel que soit le processus retenu, le Code des Marchés Publics décrit deux types de procédures en fonction du seuil de l'opération de travaux :

- si l'opération (=somme de l'ensemble des marchés de travaux) est d'un **montant inférieur à 5 000 000 €HT**, il est possible d'utiliser une **procédure adaptée**[19] en application de l'article 28 du CMP ;
- si l'opération est d'un montant supérieur à 5 000 000 EUR HT, VNF devra engager une procédure formalisée tel l'appel d'offres ouvert ou restreint pour tous les lots, que l'on soit en processus classique ou en consultation anticipée. Il est à noter que la réglementation ne prévoit pas, sauf exceptions[20], la procédure négociée en matière de travaux.

[19] Sous réserve de règles plus contraignantes mises en place dans les différentes Directions Interrégionales de VNF

[20] Les exceptions sont les suivantes (art.35 CMP) :

- dans les cas d'urgence
- par suite d'appel d'offres ou dialogue compétitif pour lequel il n'a été proposé que des offres irrégulières ou inacceptables
- par suite d'appel d'offres, pour lequel aucune candidature ou aucune offre n'a été déposée ou pour lequel seules des offres inappropriées ont été déposées

Le **dialogue compétitif** pourrait s'envisager à condition de pouvoir justifier que le marché public « *est considéré comme complexe, c'est-à-dire lorsque l'une au moins des conditions suivantes est remplie* :

1° le pouvoir adjudicateur n'est objectivement pas en mesure de définir seul et à l'avance les moyens techniques pouvant répondre à ses besoins ;

2° le pouvoir adjudicateur n'est objectivement pas en mesure d'établir le montage juridique ou financier d'un projet. » (art.36, CMP).

S'agissant de la problématique des barrages, seule la motivation visée à l'article 36-1 du CMP pourrait être mise en avant. Cette motivation doit être effectuée au cas par cas. L'avantage du dialogue compétitif réside dans la possibilité de mise au point par itérations successives de la conception des ouvrages à réaliser.

Dans le cas d'un processus de « conception-réalisation », la procédure de dialogue compétitif ne peut pas être utilisée, le Code des Marchés Publics la limitant dans ce cas (cf. art. 69-II du Code des marchés publics) aux seuls ouvrages de bâtiments en réhabilitation.

4.2 Cas particulier : procédure d'appel d'offres avec variante(s)

Au cours des échanges sur les différentes procédures envisageables pour mettre en œuvre des bouchures gonflables en lieu et place de bouchures classiques, il est apparu une demande particulière des services opérationnels de VNF : *« comment étudier et mettre en œuvre des bouchures gonflables tout en utilisant un processus classique de type MOP? »*.

Cette question s'entend dans la mesure où la tendance des services, hors cas particulier toujours possible, est au choix plus « pratique » que « raisonné » d'un processus classique de type MOP : les procédures sont plus habituelles, mieux maîtrisées.

Il existe un « usage » des missions normalisées de Maîtrise d'Œuvre, ainsi qu'un retour d'expérience important sur la variabilité des délais d'établissement des dossiers règlementaires et d'obtention des arrêtés correspondants. Ce point s'avère être une source d'aléas souvent préjudiciables au bon déroulement du planning de l'opération.

Si la logique de la démonstration qui précède ce chapitre ne semble pas devoir être remise en cause, nous proposons dans ce paragraphe une discussion autour de la possibilité d'une consultation à partir d'une conception « classique » par appel d'offres avec variante. Il s'agit, sur la base d'une conception classique d'un barrage, de bénéficier, le cas échéant, de bouchures gonflables.

4.2.1 Le cas de la Maîtrise d'œuvre

Pour ce cas particulier, il est considéré que **le Maître d'Œuvre a été retenu sur la base d'un processus MOP classique**, les processus de consultation anticipée ou de conception-réalisation sont exclus.

Le Maître d'Œuvre désigné conçoit un avant-projet, puis un projet (PRO), en vue de l'établissement d'un Dossier de Consultation des Entreprises, sur la base d'un référentiel de conception de barrage classique.

4.2.2 Le cas des Entreprises de travaux

Selon le montant de l'opération (inférieur ou supérieur au seuil européen pour les marchés de travaux actuellement fixé à 5 000 000 €HT), VNF pourra respectivement utiliser une procédure adaptée ou une procédure de type appel d'offres ouvert ou restreint.

L'article 5 du Code des Marchés Publics exige que « *la nature et l'étendue des besoins à satisfaire sont déterminées avec précision* ». Dès lors, le PRO établi par la maîtrise d'œuvre se doit d'être le plus précis possible.

Afin de solliciter les entreprises sur d'autres solutions techniques, VNF a la **possibilité d'ouvrir aux variantes des entreprises**, à la condition de l'avoir prévu aux documents de consultation[21].

Rien ne s'oppose donc à ce que VNF prévoie des variantes sur le type de bouchure.

L'avis de marché doit préciser le choix de VNF. Dans le cas de variante autorisée, il conviendra de spécifier dans la consultation des entreprises les exigences minimales que les variantes devront respecter ainsi que les modalités de leur présentation (art.50 CMP). Cela revient à indiquer les éléments d'intangibilité du cahier des charges ne pouvant pas faire l'objet de variante. Il est à remarquer qu'en l'absence de solution de base, VNF est privé d'éléments de comparaison.

L'intérêt de la variante réside dans la part d'ingénierie de conception apportée à l'initiative de l'entreprise. La notion de variante, qui sera à la diligence de l'entreprise, prend toute sa pertinence lorsqu'une solution a été décrite par le Maître d'Œuvre lors des études d'avant-projet puis de projet, mais que le Maître d'Ouvrage suppose que d'autres solutions techniques sont possibles. Tel semble être le cas pour la technologie des barrages gonflables.

Il convient de signaler que la réglementation permet de présenter une « variante » sans pour autant remettre une offre pour la « solution de base » établie par la Maîtrise d'Œuvre.

La question de savoir si on peut continuer à exiger des entreprises la remise d'une offre de base en sus de la variante est controversée.

En l'absence de précision réglementaire ou jurisprudentielle, nous recommandons de ne pas imposer la remise d'une offre pour la solution de base (position suggérée par le Professeur Linditch, in « JCP, La semaine juridique, n°42 du 17 octobre 2011, pages 24 et 25).

Cette possibilité permet aux entreprises de proposer leur propre solution technique même lorsqu'elles n'ont pas (ou plus) la compétence pour réaliser la solution établie par la Maîtrise d'Œuvre.

Il ne faut pas perdre de vue que l'ouverture aux variantes suppose que les documents de la consultation mentionnent les exigences minimales que les variantes doivent respecter. A cet effet, le Maître d'Œuvre devra expliciter les performances attendues. L'exercice pourra s'avérer difficile : certaines performances implicitement reconnues par les techniciens pour une solution de base « traditionnelle » de type clapet devront être reformulées pour définir précisément les exigences attendues d'une bouchure gonflable.

Nota : il convient de rappeler que la variante « travaux » ne doit pas avoir pour objet de modifier la conception qui aura permis à une équipe de Maîtrise d'Œuvre d'être retenue par suite de concours. Cette condition tombe dès lors que l'équipe de Maîtrise d'Œuvre a été désignée par procédure négociée ou par appel d'offres.

---

21 Et sous réserve que les autorisations réglementaires nécessaires (loi sur l'eau ou DUP par exemple), généralement obtenues au terme des dossiers d'Avant Projet, le permettent. A cet effet, il peut être pertinent de joindre dans le DCE les autorisations et les dossiers ayant permis de les obtenir

4.2.3 La question de l'allotissement

En préambule, nous rappelons que la démonstration de la nécessité de ne pas allotir ne doit pas dépendre de la décision d'autoriser les variantes. Deux cas sont étudiés :

CAS 1 : L'OPERATION FAIT L'OBJET D'UN ALLOTISSEMENT

Il est rappelé que, dans ce cas, une mission d'Ordonnancement, Pilotage et Coordination OPC devra être prévue.

La présentation d'une variante portant sur une bouchure gonflable doit, en lots séparés, prendre en compte (et à la charge de l'entreprise présentant la variante) l'ensemble des incidences sur les autres lots.

Ce point présente un **risque non négligeable de réclamation lors de l'exécution des travaux** du fait de la difficulté d'envisager dès le départ l'ensemble des interfaces entre les différents lots.

En effet, il n'apparaît pas possible de demander à un candidat présentant une « variante » de prendre en compte les conséquences sur les autres lots, sans que celles-là soient parfaitement définies.

Or, en procédure d'appel d'offres, les titulaires des autres lots impactés auront établi une offre sans connaître lesdits « impacts ». L'impossibilité de négocier crée alors un point de blocage. En revanche, cette disposition est tout à fait possible s'il n'y a pas d'allotissement.

Du fait que la variante ne porte que sur la partie « bouchure », les modifications qui pourraient en découler pour le contrat de maîtrise d'œuvre apparaissent comme mineures, pour autant que celui-ci soit compétent dans le domaine et pourront généralement être absorbées dans le cadre du forfait de rémunération.

CAS 2 : L'OPERATION NE FAIT PAS L'OBJET D'UN ALLOTISSEMENT

Dans le cas d'une variante portant sur une bouchure gonflable, l'entreprise prend d'emblée à sa charge l'ensemble des incidences collatérales dans son offre.

Il est alors possible que ces modifications entraînent de fortes différences avec la conception d'origine de niveau PRO établie par le maître d'œuvre. Il conviendra de vérifier que les autorisations administratives (dossier loi sur l'eau,…) sont toujours valides au regard de la solution finalement retenue.

Dans ces conditions, il reviendrait par la suite à VNF d'adapter le contrat du Maître d'Œuvre en raison de la remise en cause plus ou moins forte de sa conception de barrage classique.

Cette adaptation consiste en la prise en compte (par avenant) du fait que le Maître d'Œuvre doit effectuer une direction de l'exécution des contrats de travaux dont il n'aura pas défini lui-même la conception.

5. Partie C - Choix du Processus

Cette partie consiste en un exemple d'application qui a pour objet de déterminer le choix du processus pour une opération de reconstruction de barrage mettant en œuvre des bouchures gonflables.

5.1 Etape 1 : DPC

VNF décide de moderniser un ouvrage. Il approuve le Dossier de Prise en Considération (DPC). A ce stade, il n'y a normalement pas de choix du type de bouchure.

5.2 Etape 2 : Programme

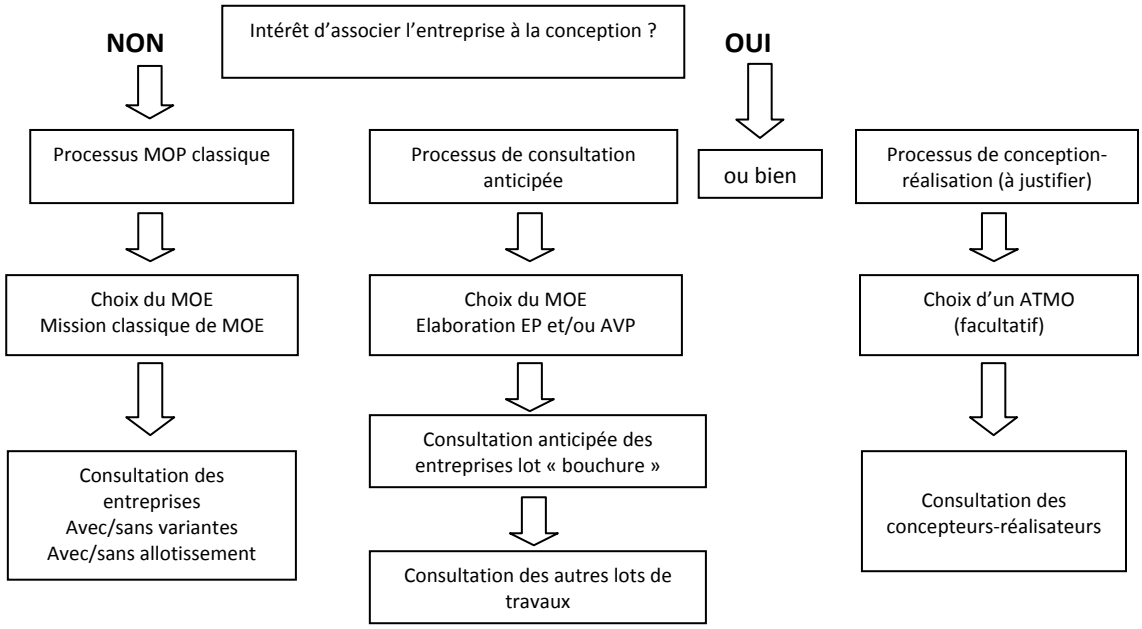
VNF approuve le programme d'opération. A ce stade, VNF peut décider que différents types de bouchures peuvent présenter un intérêt pour l'opération. VNF définit les besoins, contraintes et exigences de l'opération, notamment les performances et fonctionnalités souhaitées. Sauf en cas de volonté délibérée (expérimentation par exemple), VNF ne choisit pas un type de bouchure à ce stade.

5.3 Etape 3 : Détermination du processus (art. 2 loi MOP)

La détermination du processus doit permettre d'effectuer les choix suivants, selon la nature de l'opération :

- y-a-t'il intérêt à associer l'entreprise au processus de conception de l'ouvrage ?
- quel type de mission faut-il confier à un MOE ? (ou un ATMO si Conception-réalisation) ?
- l'opération doit-elle faire l'objet d'un allotissement ?

Le schéma de contractualisation est le suivant :



6. Partie D : Choix de la procédure

A ce jour, les barrages gonflables ne sont plus réellement couverts par des brevets, tel que cela ressort de l'étude menée par BRL ingénierie/Ravina fin 2010 pour le compte de VNF. Seuls quelques développements spécifiques de fournisseurs, qui ne sont pas toujours indispensables pour les projets de VNF, sont encore brevetés.

En revanche, les bouchures gonflables relèvent à ce jour de savoir-faire de quelques entreprises spécialisées. De plus, les bouchures gonflables sont surtout mises en œuvre pour des fonctions de retenue d'eau (lacs artificiels, production d'hydroélectricité, protection contre les crues) et sont encore peu présentes sur les barrages de navigation (3 barrages en France seulement, malgré plusieurs références identifiées à l'étranger).

Par ailleurs, les Maîtres d'Œuvre travaillant habituellement pour VNF dans le domaine des barrages ont parfois peu d'expérience dans le domaine du gonflable.

Ce contexte particulier nécessite pour la Maîtrise d'Ouvrage VNF de sécuriser ses opérations en particulier sur les plans :

- de la finance ;
- de la conception technique;
- de la réalisation (phase travaux) ;
- de la mise en concurrence ;
- du respect du Code des Marchés Publics.

Le présent document a examiné de la manière la plus complète possible les différents schémas possibles de contractualisation pour la réalisation de barrages gonflables de navigation. Les tableaux ci-après synthétisent les avantages et inconvénients des différentes procédures envisageables, tant pour le recrutement du Maître d'Œuvre que des Entreprises.

Les processus/procédures qui semblent les plus adaptés sont les suivants, du moins pour les premières années d'expérimentation/déploiement du barrage gonflable de navigation :

- la conception-réalisation s'il est possible de justifier de son emploi au regard des conditions évoquées à l'article 18 de la loi MOP (hypothèse où la filière « barrage gonflable » est retenue a priori) ;
- la consultation anticipée du lot « bouchure » qui permettra la comparaison des différentes solutions techniques existantes.

Ces types de contractualisation ne sont pas encore très utilisés à VNF. Outre les changements d'habitudes qu'ils représentent, ils nécessiteront un peu de formation de la Maîtrise d'Ouvrage VNF, avec notamment dans le cas d'une conception-réalisation la mise en place d'un ATMO.

Si le barrage gonflable de navigation se développe, la Maîtrise d'Œuvre travaillant dans le domaine des barrages de navigation acquerra rapidement un savoir-faire. Ceci permettra d'envisager de passer dans des processus plus classiques énoncés par la Loi MOP.

6.1 Recrutement du Maître d'Œuvre

Avant d'opérer au choix de la procédure de passation, il conviendra d'évaluer le mode de contractualisation pour le Maître d'Œuvre :

- soit VNF envisage de travailler barrage par barrage, et dans ces conditions, un marché « ordinaire » est à envisager ;
- soit VNF envisage la possibilité de regrouper le traitement de plusieurs barrages, éventuellement sur une durée de plusieurs années et l'accord-cadre peut être une solution contractuelle performante.

Procédure	Avantages	Inconvénients	Observations
Conception - Réalisation	Pas de Maître d'Œuvre	Pas de Maître d'Œuvre	(voir développement spécifique de l'annexe 2 au 2.1 pour la consultation des entreprises) Recrutement d'un Assistant Technique à Maîtrise d'Ouvrage (ATMO) recommandé pour servir de tierce partie
Concours	Permet de faire appel à la créativité des bureaux d'étude	Fige une solution technique très en amont Aspects techniques, coûts et environnementaux survolés Limite la concurrence lors des consultations de travaux (pas de possibilité d'ouverture aux variantes) Procédure lourde, ne permettant pas de gagner du temps	Nécessite que le Moa accepte par avance la possibilité de mise en œuvre d'une solution gonflable sur l'ouvrage considéré
Marché négocié **(article 35-I-2 du CMP)**	Permet de préciser les attentes de la Moa Permet aux Moe de préciser leurs offres Permet de parfaire les contrats	Difficulté à définir les critères pour sélectionner les bons candidats	Nécessite dès le début (présentation du DCE) la justification du recours à la procédure négociée Nécessite une Maîtrise d'Ouvrage formée à la négociation Les Maîtres d'Œuvre ont à ce jour peu d'expérience en matière de gonflable Nécessité d'annoncer, le cas échéant, le processus de consultation anticipée
Appel d'offres ouvert	Procédure maîtrisée par VNF		Nécessite dès le début (présentation du DCE) la justification du recours à l'appel d'offres Les Maîtres d'Œuvre ont à ce jour peu d'expérience en matière de gonflable Nécessité d'annoncer, le cas échéant, le processus de consultation anticipée
Appel d'offres restreint		Difficulté à définir les critères pour sélectionner les bons candidats	Nécessite dès le début (présentation du DCE) la justification du recours à l'appel d'offres Les Maîtres d'Œuvre ont à ce jour peu d'expérience en matière de gonflable Nécessité d'annoncer, le cas échéant, le processus de consultation anticipée
Dialogue compétitif			Procédure limitée au domaine de la réhabilitation d'ouvrages. Doit être justifiée au regard de la complexité du marché. Risque de requalification en « concours » si on demande une remise de prestation de conception lors de la mise en concurrence.

6.2 Recrutement des entreprises de travaux

Rappel - dans le cadre de la rénovation d'un barrage de VNF (reconstruction ou réhabilitation), les bouchures pourront être :

- soit intégralement de type gonflable (BG ou BGVM) ;
- soit mixtes, avec une partie des bouchures en solutions « classiques » (vanne-clapet,…) et une partie en gonflable.

6.2.1 Procédures particulières où l'entreprise apporte son savoir-faire dans la conception

Procédure	Avantages	Inconvénients	Observations
Conception – Réalisation (dans le cas du gonflable)	Permet de mettre en concurrence les différents procédés de gonflable	Procédure lourde, peu maîtrisée par la Moa VNF Le choix de l'attributaire se fait sur AVP. Les autorisations administratives sont tributaires des choix. Elles nécessitent un délai d'environ 12 mois	Dans le cas du gonflable : nécessité de démontrer préalablement le recours à cette procédure dérogatoire Recrutement d'un Assistant Technique à Maîtrise d'Ouvrage (ATMO) recommandé Procédure lourde, ne faisant pas réellement gagner de temps A priori non adaptée pour le BGVM, car VNF en a déjà réalisé avec des Maîtres d'Œuvre (Auxonne, Gray) A priori, non adaptée pour le BG, car les éléments constituant les barrages, hors bouchure, sont d'ores et déjà concevables par des Maîtres d'Œuvre
Conception – Réalisation (ouvert à tous les procédés, gonflables ou non)			A priori non adapté, car les procédés de barrage classique ne sont pas maîtrisés par les seules entreprises
Dialogue compétitif			Non autorisé dans le cadre du processus de conception-réalisation en infrastructure
Consultation anticipée sur les bouchures AVEC LOTS	Permet d'obtenir une définition technique précise des bouchures par les entreprises dès la constitution de l'AVP Permet de mettre en concurrence tous types de bouchures Permet d'abandonner dès l'AVP la solution gonflable si elle s'avère inadaptée ou trop chère	Procédure séquencée non pratiquée à ce jour à VNF Marché bouchure en attente le temps de l'obtention des procédures administratives et de la passation des marchés des autres lots	Impact sur les autres lots à bien appréhender par le Maître d'Œuvre Nécessite une formation spécifique de la Moa VNF sur cette procédure Nécessite de prévoir la possibilité d'une consultation anticipée dans le marché de Maîtrise d'Œuvre (éléments de missions spécifiques, annexe IV, arrêté du 21 décembre 1993)

6.2.2 Procédures « classiques », SANS ALLOTISSEMENT

Le **choix de non-allotir nécessite d'être justifié** au regard de l'exigence posée à l'article 10 du Code des marchés publics.

Procédure	Avantages	Inconvénients	Observations
Appel d'offres sans variantes, sur la base d'une solution gonflable SANS LOTS	Pas de problème au niveau des autorisations administratives	Ne met pas les solutions gonflables en concurrence avec des solutions classiques	Nécessite d'avoir défini la solution gonflable de manière : - détaillée - ou performantielle Nécessite des compétences sur les bouchures gonflables de la part de la Maîtrise d'œuvre
Appel d'offres avec variantes, sur la base d'une solution gonflable SANS LOTS		Autorisations administratives à prévoir en conséquence (possible remise en cause de la solution de base)	Nécessite de définir la solution gonflable Pas de nécessité d'étude détaillée d'autres solutions, mais conseillé au stade AVP pour les autorisations administratives et confirmer faisabilité
Appel d'offres avec variantes, sur la base d'une solution classique SANS LOTS	Mise en concurrence réelle du gonflable Responsabilité prise en charge par l'entreprise sur la variante	Autorisations administratives à prévoir en conséquence Risque d'absence de variantes	Responsabilité Maîtrise d'Œuvre sur la variante à préciser Adaptation du contrat de Moe à prévoir si la variante est retenue
Appel d'offres avec options SANS LOTS - **solution « classique »** - **solution gonflables**	Normalement couvert par les autorisations administratives		Nécessité de définir les 2 solutions avec le même niveau de précision (délicat à ce jour en ce qui concerne le gonflable) Impact sur le marché de Maîtrise d'Œuvre (étude de deux solutions jusqu'à la consultation Entreprises)
Marché négocié SANS LOTS			Non autorisé par le Code des marchés publics (sauf après AO infructueux)
Consultation anticipée sur les bouchures SANS LOTS			Non adaptée (bien que la loi MOP n'interdise pas de consulter sur la base d'un AVP)

6.2.3 Procédures « classiques », AVEC ALLOTISSEMENT

L'allotissement nécessite de confier une mission Organisation Pilotage et Coordination

Procédure	Avantages	Inconvénients	Observations
Appel d'offres sans variantes, sur la base d'une solution gonflable AVEC LOTS	Pas de problème au niveau des autorisations administratives	Ne met pas les solutions gonflables en concurrence avec des solutions classiques	Nécessite d'avoir défini la solution gonflable de manière : - détaillée ; - ou performantielle Nécessite des compétences sur les bouchures gonflables de la part de la Maîtrise d'Œuvre
Appel d'offres avec variantes, sur la base d'une solution gonflable AVEC LOTS		Autorisations administratives à prévoir en conséquence (possible remise en cause de la solution de base)	Nécessite de définir la solution gonflable Pas de nécessité d'étude détaillée d'autres solution, mais conseillé au stade AVP pour les autorisations administratives et confirmer faisabilité
Appel d'offres avec variantes, sur la base d'une solution classique AVEC LOTS	Mise en concurrence réelle du gonflable Responsabilité prise en charge par l'entreprise sur la variante	Autorisations administratives à prévoir en conséquence Risque d'absence de variantes Risque de réclamation de la part des autres lots si impacts « variante » non mesurables ou non anticipés	Responsabilité maîtrise d'œuvre sur la variante Adaptation du contrat de Moe à prévoir si la variante est retenue Nécessite de mesurer à l'analyse de la variante les impacts sur les autres lots
Appel d'offres avec options, AVEC LOTS **- solution « classique »** **- solutions gonflables**	Normalement couvert par les autorisations administratives		Nécessité de définir les deux solutions avec le même niveau de précision (délicat à ce jour en ce qui concerne le gonflable) Ceci peut être considéré comme contradictoire avec l'article 5 du CMP qui prévoit que les besoins soient définis « avec précision » Impact sur le marché de Maîtrise d'œuvre (étude de deux solutions jusqu'à la consultation Entreprises)
Marché négocié AVEC LOTS			Non autorisé par le Code des marchés publics (sauf après AO infructueux)

Annexe 1 : Processus de consultation anticipée

Annexe 1.1 Déroulement de la procédure

Le processus de consultation anticipée est peu pratiqué par VNF et nécessite un suivi rigoureux des différentes étapes. Celles-ci sont décrites dans cette annexe.

1ERE PHASE : LE CHOIX DE LA MAITRISE D'ŒUVRE (DANS LE CAS DE LA PROCEDURE NEGOCIEE)

REFERENCES CMP	PHASES
	ELABORATION DU DOSSIER DE CONSULTATION (niveau programme) (art. 2 loi MOP) Définition de la mission du MOE prenant en compte les éléments de mission spécifiques de MOE du fait de la consultation anticipée (Arrêté du 21 décembre 1993, annexe IV) Inclure une mission complémentaire d'OPC
PRE INFORMATION ART.39	Non obligatoire, mais permet de prévenir les candidats intéressés suffisamment tôt
ART. 74 (Moe) ART. 65 ART. 40	ENVOI DE L'AAPC (JOUE et BOAMP + profil d'acheteur ; formulaire FR2 selon Règlement européen du 19 août 2011) Prévoir la sélection de 3 candidats minimum Indiquer les critères de sélection (capacités techniques et professionnelles ; références ; moyens humains et matériels)
ART.74	CONVOCATION DU JURY
ART. 65 et 74	RECEPTION DES CANDIDATURES (délai minimum 37+2 jours) (l'envoi électronique de l'avis de marché permet de raccourcir ce délai à 30+2jours)
ART. 59-II	OUVERTURE DES CANDIDATURES (pas de décision lors de cette réunion) – Ouverture des plis – Enregistrement des pièces – Rédaction du PV d'ouverture des candidatures Dossiers consignés pour analyse
ART. 52	POSSIBILITE de rattrapage des candidatures ayant omis une pièce requise
	ANALYSE DES CANDIDATURES par les Services - Analyse administrative, technique (références, capacité,…) - Rédaction du rapport d'analyse
ART. 74	JURY de candidatures MOE – Avis du jury sur les candidatures – PV comportant les circonstances de l'examen et de l'avis motivé
ART. 65 et 74	DECISION DU RPA (Représentant du Pouvoir Adjudicateur)
ART. 80-I-1	COURRIERS AUX CANDIDATS NON ADMIS Indication des motifs du rejet + délais et voies de recours

REFERENCES CMP	PHASES
ART. 66	ENVOI DU DOSSIER DE CONSULTATION AUX CANDIDATS La lettre de consultation (=règlement de consultation) doit mentionner : - La référence à l'avis de marché - Les critères de choix du MOE
ART. 66	RECEPTION DES OFFRES (le délai de remise figure au règlement de consultation)
ART.53-II	ANALYSE DES OFFRES par les Services – Analyse comparative sur la base des critères pondérés annoncés au règlement de consultation (méthodologie de conduite de prestation, pertinence de l'affectation des rôles, prix, …) – Rédaction d'un rapport d'analyse
ART. 66	NEGOCIATION – Classement des offres et choix du titulaire du marché – PV comportant les circonstances de l'examen et de l'avis motivé
ART. 66	DECISION DU RPA
ART. 45 et 46	RECEPTION DES ATTESTATIONS fiscales et sociales (Formulaires selon NOTI 1 et NOTI2)
ART. 80-I-1	COURRIERS AUX CONCURRENTS NON RETENUS Indication des motifs de rejet des offres Indication des caractéristiques et avantages de l'offre retenue Indication du délai de « signature retardée » (16 j) + délais et voies de recours
ART. 66 ART. 75	MISE AU POINT DU MARCHE – Finalisation du dossier marché – Rédaction du rapport de présentation
ART. 66 ART.75	SIGNATURE DU MARCHE PAR LE RPA (attendre 16 j après l'envoi de l'information aux candidats non retenus)
ART. 79	NOTIFICATION
ART.80	ENVOI DE L'AVIS D'ATTRIBUTION (formulaire FR3) (aux supports de la publicité initiale)

2EME PHASE : LE DEBUT DE LA CONCEPTION

REFERENCES	PHASES
Selon contrat MOE	ETABLISSEMENT DES ETUDES DE DIAGNOSTIC (ou ETUDES PRELIMINAIRES)
	ETABLISSEMENT DES ETUDES D'AVANT-PROJET

3EME PHASE : LA CONSULTATION ANTICIPEE DU LOT « BOUCHURE GONFLABLE » (APPEL D'OFFRES OUVERT) (L'APPEL D'OFFRES RETREINT EST UNE AUTRE PROCEDURE POSSIBLE)

REFERENCES CMP	PHASES
Art 5 Art. 10	ELABORATION DU DOSSIER DE CONSULTATION (niveau AVP pour la réhabilitation d'un ouvrage) (art. 26 décret n°93-1268 du 29 novembre 1993) - L'allotissement doit être confirmé - Le rôle du MOE doit être annoncé - La bouchure devra être décrite en termes de performances ou d'exigences fonctionnelles - Prévoir un article sur les droits de propriété intellectuelle - Délai de validité des offres à préciser - Le Règlement de Consultation (RC) doit prévoir un critère sur la valeur technique de la solution technique proposée
PRE INFORMATION ART.39	Non obligatoire, mais permet de prévenir les candidats intéressés suffisamment tôt
ART. 40 ART. 65 ART. 40	ENVOI DE L'AAPC (JOUE et BOAMP + profil d'acheteur ; formulaire FR2 selon Règlement européen du 19 août 2011) Indiquer les critères de sélection (capacités techniques et professionnelle ; références ; moyens humains et matériels)
ART. 58	REMISE DES OFFRES (délai minimum 52+2j) (le délai peut être réduit en cas d'usage de l'internet et/ou de la dématérialisation)
ART. 59	OUVERTURE DES PLIS par le RPA (pas de décision lors de cette réunion) - Ouverture des plis - Enregistrement des pièces - Vérification du contenu des éléments de candidatures et d'offres - Rédaction du PV d'ouverture des plis - Dossiers consignés pour analyse
ART. 52	POSSIBILITE de rattrapage des candidatures ayant omis une pièce requise
ART. 53	ANALYSE DES OFFRES par le RPA (assisté du MOE) – Analyse comparative sur la base des critères pondérés annoncés au règlement de consultation (valeur technique de la solution proposée, organisation en démarche-qualité, prix…). – Rédaction d'un rapport d'analyse
ART. 59	DECISION DU RPA
ART. 45 et 46	RECEPTION DES ATTESTATIONS fiscales et sociales (Formulaires selon NOTI 1 et NOTI 2)
ART. 80-I-1	COURRIERS AUX CONCURRENTS NON RETENUS Indication des motifs de rejet des offres Indication des caractéristiques et avantages de l'offre retenue Indication du délai de « signature retardée » (16 j) + délais et voies de recours
ART. 66 ART. 75	MISE AU POINT DU MARCHE – Finalisation du dossier marché – Rédaction du rapport de présentation
ART. 66 ART.75	SIGNATURE DU MARCHE PAR LE RPA (attendre 16 j après l'envoi de l'information aux candidats non retenus)
ART. 79	NOTIFICATION

4EME PHASE : LE PARTAGE DE LA CONCEPTION

REFERENCES	PHASES
Selon contrats	MISE à JOUR DE L'AVP global par le MOE (sur la base des éléments de conception AVP apportés par le titulaire du lot « bouchure »)
	AUTORISATIONS ADMINISTRATIVES Etablissement des dossiers d'enquête « environnement » (impact, loi sur l'eau…)
	ETABLISSEMENT DU PRO GLOBAL Sur la base des éléments de conception PRO apportés par le titulaire du lot « bouchure »

5EME PHASE : LA CONSULTATION DES AUTRES LOTS DE TRAVAUX (APPEL D'OFFRES OUVERT (OU RESTREINT) OU MAPA POUR LES « PETITS LOTS » (SELON ARTICLE 27-III CMP))

REFERENCES	PHASES
	ELABORATION DU DOSSIER DE CONSULTATION (niveau PRO) - Indiquer le processus de réalisation du fait de la consultation anticipée et de la présence de l'entreprise du lot « bouchure » - Prévoir un article sur les droits de propriété intellectuelle Le Règlement de Consultation (RC) doit prévoir un critère sur la valeur technique de la solution technique proposée
	CONSULTATION DES ENTREPRISES
	Cf. processus d'appel d'offres ouvert décrit précédemment en phase 3

6EME PHASE : L'EXECUTION DES TRAVAUX POUR L'ENSEMBLE DES LOTS

- le Maître d'Œuvre dirige l'exécution des contrats de travaux ;
- la réception doit permettre de vérifier les performances demandées dans le programme de consultation du lot « bouchure ».

Annexe 1.2 Dispositions réglementaires

Décret n°93-1268 du 29 décembre 1993 (extrait)

Article 26

Lorsque les méthodes ou techniques de réalisation ou les produits industriels à mettre en œuvre impliquent l'intervention, dès l'établissement des avant-projets, de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels, le Maître d'Ouvrage peut décider de les consulter de façon anticipée pour un ou plusieurs lots de technicité particulière.

Cette consultation intervient soit à l'issue des études d'avant-projet sommaire ou d'avant-projet définitif pour les ouvrages neufs de bâtiment et pour les opérations de réutilisation ou de réhabilitation de bâtiment et d'infrastructure, soit à l'issue des études préliminaires pour les ouvrages neufs d'infrastructure.

L'entrepreneur ou le fournisseur de produits industriels retenu après consultation établit et remet au Maître d'Œuvre les documents graphiques et écrits définissant les solutions techniques qu'il propose.

Les éléments de mission d'avant-projet et de projet pour les lots concernés sont dans ce cas remplacés ou complétés en tant que de besoin par les dispositions des I et II suivants.

- les études spécifiques d'avant-projet pour le ou les lots concernés ont pour objet :

  a) d'apprécier les conséquences de la solution technique étudiée par l'entrepreneur ou le fournisseur de produits industriels en s'assurant qu'elle est compatible avec les contraintes du programme et qu'elle est assortie de toutes les justifications et avis techniques nécessaires ;

  b) de retenir la solution technique, le cas échéant de la faire adapter, ou d'en proposer le rejet au Maître d'Ouvrage ;

  c) de permettre l'établissement du forfait de rémunération pour les lots concernés pour les éléments de missions spécifiques dans les conditions prévues par le contrat de Maîtrise d'Œuvre ;

  d) de permettre au Maître d'Ouvrage d'arrêter avec l'entrepreneur ou le fournisseur les conditions d'exécution de son contrat.

- les études spécifiques de projet pour le ou les lots concernés ont pour objet :

  a) de définir de façon détaillée les prescriptions architecturales et techniques à partir des études de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels ;

  b) de permettre au maître de l'ouvrage d'évaluer les coûts d'exploitation et de maintenance ;

  c) de préciser la période de réalisation du ou des lots concernés.

Annexe 1.3 : Dispositions de l'arrêté du 21 décembre 1993 (extrait)

ANNEXE IV : ELEMENTS DE MISSION SPECIFIQUE DE MAITRISE D'OEUVRE

Lorsque les méthodes ou techniques de réalisation ou les produits industriels à mettre en œuvre impliquent l'intervention, dès l'établissement des avant-projets, de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels, le Maître d'Ouvrage peut décider de les consulter de façon anticipée pour un ou plusieurs lots de technicité particulière.

Cette consultation intervient soit à l'issue des études d'avant-projet sommaire ou d'avant-projet définitif pour les ouvrages neufs de bâtiment et pour les opérations de réutilisation ou de réhabilitation de bâtiment et d'infrastructure, soit à l'issue des études préliminaires pour les ouvrages neufs d'infrastructure.

Dans ce cas, le dossier de consultation des entreprises pour les lots concernés doit être adapté. Il comporte en particulier: des éléments du programme, notamment des renseignements relatifs au terrain et au sous-sol et les délais prévisibles de réalisation, des détails architecturaux essentiels, des spécifications générales précisant les intentions qualitatives et les performances techniques à atteindre en relation avec les exigences du programme, une liste des documents graphiques et descriptifs et des notes de calcul justificatives que les entreprises ou les fournisseurs doivent remettre à l'appui de leur offre.

La mission du Maître d'Œuvre n'est pas interrompue par l'intervention anticipée du ou des entrepreneurs ou fournisseurs de produits industriels pour le ou les lots concernés.

L'entrepreneur ou le fournisseur de produits industriels retenu après consultation intervient auprès du Maître d'Oeuvre en établissant les documents graphiques et écrits définissant les solutions techniques qu'il propose.

La mission de base dans le domaine du bâtiment demeure et tient compte des éléments de mission spécifiques. Les éléments de mission spécifiques pour le ou les lots concernés remplacent ou complètent en tant que de besoin les éléments de mission correspondants.

Les études spécifiques d'avant-projets pour le ou les lots concernés, fondées sur la proposition de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels retenue après consultation, complètent les études d'avant-projets effectuées pour les autres lots constituant l'ouvrage.

Elles ont pour objet de :

- apprécier par rapport aux différentes réglementations, et notamment celles relatives à l'hygiène et à la sécurité, les conséquences de la solution technique étudiée par l'entrepreneur ou le fournisseur de produits industriels en s'assurant qu'elle est compatible avec les contraintes du programme et qu'elle est assortie de toutes les justifications et avis techniques nécessaires ;
- retenir la solution technique, le cas échéant la faire adapter ou en proposer le rejet au Maître d'Ouvrage ;
- confirmer les choix techniques et préciser la nature et la qualité des matériaux et éléments d'équipements ;
- permettre l'établissement du forfait de rémunération pour les lots concernés pour les éléments de mission spécifique dans les conditions prévues par le contrat de Maîtrise d'Œuvre ;
- permettre au Maître d'Ouvrage d'arrêter avec l'entrepreneur ou le fournisseur les conditions d'exécution de son contrat.

Les études spécifiques de projet pour le ou les lots concernés, fondées sur les études d'avant-projets, sont à inclure dans le dossier de conception générale de l'ensemble de l'ouvrage.

Elles ont pour objet de :

- définir de façon détaillée les prescriptions architecturales et techniques, à partir des études de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels ;
- permettre au Maître d'Ouvrage d'évaluer les coûts d'exploitation et de maintenance ;
- préciser la période de réalisation du ou des lots concernés en vue de l'établissement de l'échéancier global de réalisation de l'ouvrage.

Annexe 2 : Processus « Conception Réalisation »

Annexe 2.1 : Jurisprudence CE du 28 déc. 2001

Conseil d'Etat
statuant au contentieux
N° 221649
Publié au Recueil Lebon

7 / 5 SSR

M. Peylet, Rapporteur
M. Piveteau, Commissaire du gouvernement

M. Genevois, Président
SCP Vier, Barthélemy, SCP Lyon-Caen, Fabiani, Thiriez, Avocat

Lecture du 28 décembre 2001

REPUBLIQUE FRANCAISE

AU NOM DU PEUPLE FRANCAIS

Vu la requête enregistrée le 31 mai 2000, présentée pour le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE ayant son siège 40 boulevard Charles de Gaulle 63000 Clermont-Ferrand, le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE demande au Conseil d'Etat :

1°) d'annuler l'arrêt du 30 mars 2000 par lequel la cour administrative d'appel de Lyon a, à la demande du département du Puy-de-Dôme,

1) annulé les articles 3 à 5 du jugement avant-dire-droit du 20 octobre 1994 du tribunal administratif de Clermont-Ferrand ordonnant une expertise et le jugement du 10 juillet 1996 par lequel ce tribunal a annulé la délibération du 5 avril 1994 de la commission permanente du Conseil général du Puy de Dôme décidant d'attribuer le marché des travaux d'extension et de restructuration du collège Jean Vilar de Riom à un groupement constitué de l'entreprise GFC, des architectes Berger et Marnaud et du bureau d'études techniques OTRA,

2) rejeté la demande présentée par le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE devant le tribunal administratif de Clermont-Ferrand et tendant à l'annulation de la délibération du 5 avril 1994 de la commission permanente du conseil général du Puy-de-Dôme,

3) mis les frais des expertises à sa charge ;

2°) de condamner l'Etat à lui verser la somme de 20 000 F au titre de l'article 75-I de la loi du 10 juillet 1991 ;

Vu les autres pièces du dossier ;

Vu le code des marchés publics ;

Vu la loi n° 77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture ;

Vu la loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 modifiée relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée, notamment son article 18 ;

Vu le décret n° 93-1270 du 29 novembre 1993 portant application du I de l'article 18 de la loi du 12 juillet 1985 susvisée ;

Vu le code de justice administrative ;

Après avoir entendu en séance publique :

- le rapport de M. Peylet, Conseiller d'Etat,
- les observations de la SCP Vier, Barthélemy, avocat du CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE et de la SCP Lyon-Caen, Fabiani, Thiriez, avocat du département du Puy-de-Dôme,
- les conclusions de M. Piveteau, Commissaire du gouvernement ;

Considérant que, par une délibération du 5 avril 1994 de la commission permanente du conseil général, le département du Puy-de-Dôme a décidé, à la suite d'un appel d'offres sur performances, l'attribution d'un marché de conception-réalisation en vue de l'extension et de la restructuration du collège Jean Vilar de Riom en application des articles 303 et 304 du code des marchés publics ; qu'après avoir ordonné, par un jugement avant-dire-droit du 20 octobre 1994, une première expertise puis, par un second jugement avant-dire-droit du 19 octobre 1995, un complément d'expertise, le tribunal administratif de Clermont-Ferrand a, par un jugement du 10 juillet 1996, fait droit à la demande que lui avait présentée le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE tendant à l'annulation de cette délibération ; que le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE se pourvoit contre l'arrêt du 30 mars 2000 par lequel la cour administrative d'appel de Lyon a annulé les articles 2 à 5 du jugement avant-dire-droit du 20 octobre 1994 et le jugement du 10 juillet 1996 du tribunal administratif de Clermont-Ferrand, au motif que le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE ne justifiait pas "d'un intérêt lui donnant qualité pour demander l'annulation de la décision attaquée" ;

Considérant qu'aux termes de l'article 26 de la loi du 3 janvier 1977 sur l'architecture : "Le conseil national et le conseil régional de l'ordre des architectes (.) ont qualité pour agir en justice en vue notamment de la protection du titre d'architecte et du respect des droits conférés et des obligations imposées aux architectes par la présente loi (.)" ; qu'aux termes du 2ème alinéa de l'article 7 de la loi du 12 juillet 1985 modifiée relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée : "Pour la réalisation d'un ouvrage, la mission de maîtrise d'oeuvre est distincte de celle d'entrepreneur" ; qu'aux termes du I de l'article 18 de cette même loi : "Nonobstant les dispositions du titre II de la présente loi, le maître de l'ouvrage peut confier par contrat à un groupement de personnes de droit privé ou, pour les seuls ouvrages d'infrastructure, à une personne de droit privé, une mission portant à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux, lorsque des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage (.)" ; qu'il résulte de ces dispositions que la passation d'un marché de conception-réalisation, qui modifie les conditions d'exercice de la fonction de maître d'œuvre, ne peut avoir lieu que dans des circonstances particulières ; que, dès lors, si ces circonstances ne sont pas établies, une telle passation est de nature à affecter les droits conférés aux architectes lorsque leur intervention est requise en application des dispositions de la loi du 3 janvier 1977 ; qu'il en résulte qu'en l'espèce, en se fondant sur l'absence d'atteinte particulière portée par cette procédure aux intérêts collectifs de la profession d'architecte qu'il incombe au CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE de défendre, la cour administrative d'appel de Lyon a entaché son arrêt du 30 mars 2000 d'une erreur de droit ; que le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE est fondé à demander l'annulation de cet arrêt ;

Considérant qu'aux termes de l'article L. 821-2 du code de justice administrative, le Conseil d'Etat, s'il prononce l'annulation d'une décision d'une juridiction administrative statuant en dernier ressort, peut "régler l'affaire au fond si l'intérêt d'une bonne administration de la justice le justifie" ; que, dans les circonstances de l'espèce, il y a lieu de régler l'affaire au fond ;

Considérant qu'aux termes de l'article 304 du code des marchés publics en vigueur à la date du marché en cause, dans la rédaction que lui a donnée le décret n° 93-1270 du 29 novembre 1993 portant application du I de l'article 18 précité de la loi du 12 juillet 1985 modifiée : "Les marchés de conception-réalisation portent à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux pour la réalisation d'un ouvrage mentionné à l'article 1er de la loi du 12 juillet 1985 modifiée (...). Les dispositions de l'article 303 leur sont applicables dans les conditions suivantes : 1° Il ne peut être recouru à la procédure décrite à cet article que si des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. Ces motifs doivent être liés à la destination ou à la mise en œuvre technique de l'ouvrage. / Sont concernées des opérations dont la finalité majeure est une production dont le processus conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ainsi que des opérations dont les caractéristiques intrinsèques (dimensions exceptionnelles, difficultés techniques particulières) appellent une mise en œuvre dépendant des moyens et de la technicité des entreprises (.)" ;

Considérant qu'il résulte des pièces du dossier et en particulier du complément d'expertise ordonné par jugement avant-dire-droit du 19 octobre 1995 du tribunal administratif de Clermont-Ferrand, que les travaux à réaliser en l'espèce ne présentaient pas de difficultés techniques particulières susceptibles de constituer des motifs techniques au sens des dispositions de la loi du 12 juillet 1985 rapprochées de celles de l'article 304 du code des marchés publics et rendant nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études ; qu'il en résulte que le département du Puy-de-Dôme n'est pas fondé à soutenir que c'est à tort que, par son jugement du 10 juillet 1996, le tribunal administratif de Clermont-Ferrand a annulé la délibération du 5 avril 1994 de la commission permanente du conseil général du Puy-de-Dôme ;

Sur les conclusions tendant au paiement des frais exposés et non compris dans les dépens :

Considérant que les dispositions de l'article L. 761-1 du code de justice administrative font obstacle à ce que l'Etat, qui n'est pas partie dans la présente instance, soit condamné à payer au CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE la somme qu'il demande au titre des frais exposés par lui et non compris dans les dépens ; qu'elles font obstacle également à ce que le CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE, qui n'est pas dans la présente instance la partie perdante, soit condamné à payer au département du Puy-de-Dôme la somme qu'il demande à ce titre ;

DECIDE :

Article 1er : L'arrêt du 30 mars 2000 de la cour administrative d'appel de Lyon est annulé.

Article 2 : La demande présentée par le département du Puy-de-Dôme devant la cour administrative d'appel de Lyon est rejetée.

Article 3 : Le surplus des conclusions de la requête du CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE est rejeté.

Article 4 : Les conclusions du département du Puy-de-Dôme tendant à l'application des dispositions de l'article L. 761-1 du code de justice administrative sont rejetées.

Article 5 : La présente décision sera notifiée au CONSEIL REGIONAL DE L'ORDRE DES ARCHITECTES D'AUVERGNE, au département du Puy-de-Dôme et au ministre de la culture et de la communication.

Annexe 2.2 : Source Direction des Affaires Juridiques (30 jan.09)

Code des marchés publics : La procédure de conception-réalisation

A noter : le décret n°2008-1334 du 17 décembre 2008 a introduit des dispositions afférentes aux marchés de conception-réalisation passés par les pouvoirs adjudicateurs et les entités adjudicatrices soumises à l'ordonnance n°2005-649 du 6 juin 2005, dans ses deux décrets d'application (décret n°2005-1308 du 20/10/2005 et n°2005-1742 du 30/12/2005). Les décrets n°1993-1269 et 1993-1270 du 29 novembre 1993 pris pour l'application de la loi MOP sont abrogés.

1/ TEXTES

Les marchés de conception-réalisation sont prévus par la loi du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée dite loi MOP.

Son article 7 pose le principe d'une mission de maîtrise d'œuvre distincte de celle de l'entrepreneur pour la réalisation d'un ouvrage.

Par dérogation à cet article, l'article 18-1 de la même loi permet au maître d'ouvrage de « *confier par contrat à un groupement de personnes de droit privé ou, pour les seuls ouvrages d'infrastructures, à une personne de droit privé une mission portant à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux, lorsque des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. Un décret précise les conditions d'application du présent alinéa en modifiant, en tant que de besoin, pour les personnes publiques régies par le code des marchés publics les dispositions de ce code.*"[1]

Le décret n°2008-1355 du 19 décembre 2008 de mise en œuvre du plan de relance économique dans les marchés publics a modifié les dispositions du code des marchés publics afférentes aux marchés de conception-réalisation pour les pouvoirs adjudicateurs (articles 37 et 69) et a inséré une *section 6 – dispositions particulières pour le marché de conception-réalisation* – (article 168-1) pour les entités adjudicatrices.

Par dérogation à la loi MOP, certaines règlementations particulières permettent le recours à la conception-réalisation :

- loi n°2002-1094 du 29 août 2002 d'orientation et de programmation pour la sécurité intérieure (LOPSI) modifiée par la loi n° 2003-239 du 18 mars 2003;
- loi n°2002-1138 du 9 septembre 2002 d'orientation et de programmation pour la justice (LOPJ) ;
- Ordonnance n°2003-850 du 4 septembre 2003 portant simplification de l'organisation et du fonctionnement du système de santé ainsi que des procédures de création d'établissements ou de services sociaux ou médico-sociaux soumis à autorisation;
- ordonnance du 17 juin 2004 modifiée par la loi 2008-735 du 28 juillet 2008 relative aux contrats de partenariat.

2/ DÉFINITION

La conception-réalisation est un type particulier de marché dans lequel le maître d'ouvrage confie simultanément la conception (études) et la réalisation (exécution des travaux) d'un ouvrage à un groupement d'opérateurs économiques ou un seul opérateur pour les ouvrages d'infrastructures.

Ce marché permet ainsi d'associer les entrepreneurs à la conception de l'ouvrage. Il constitue donc une exception à l'organisation tripartite : maître d'ouvrage – maître d'œuvre – entreprises.

Le marché de conception-réalisation est un marché de travaux car il a pour objet principal la réalisation d'un ouvrage.

---

[1] Une circulaire du Ministère de l'aménagement et du territoire n° 95-58 du 9 août 1995 (NOR : EQUE9510111C) a apporté des éléments d'informations complémentaires notamment sur les conditions de recours au marché de conception-réalisation.

3/ TITULAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION

L'article 18 de la loi MOP (et l'article 37 du CMP) précise que le titulaire du marché de conception-réalisation d'un bâtiment doit être un groupement d'opérateurs économiques alors que celui d'un marché pour un ouvrage d'infrastructures peut être un seul opérateur économique.

En effet, en vertu de la loi n°77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture, seul l'architecte peut élaborer le projet architectural d'un ouvrage soumis à la législation du permis de construire. Dès lors, le marché de conception-réalisation pour un ouvrage de bâtiment devra être confié à un groupement comprenant nécessairement et au minimum un architecte et un entrepreneur.

4/ CONCEPTION-RÉALISATION, CODE DES MARCHÉS PUBLICS ET LOI MOP

L'article 37 du CMP comprend deux alinéas : le premier donne une définition générale du marché de conception-réalisation et le deuxième impose des conditions strictes de recours à ce marché.
Ces conditions de recours ne s'imposent qu'aux pouvoirs adjudicateurs soumis aux dispositions de la loi MOP.[2]

L'article 69 du CMP présente le déroulement des procédures de passation des marchés de conception-réalisation passés par les pouvoirs adjudicateurs.

L'article 168-1 du CMP précise le déroulement des procédures de passation des marchés de conception-réalisation passés par les entités adjudicatrices.

5/ CONDITIONS DE RECOURS AU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION (ARTICLE 37 DU CMP)

Le principe de l'interdiction d'associer l'entreprise à la conception de l'ouvrage posé par la loi MOP est assoupli par la possibilité de recourir à la conception-réalisation.
Pour autant, l'utilisation de cette procédure est strictement encadrée.

Le deuxième alinéa de l'article 37 du CMP précise que :

« Les pouvoirs adjudicateurs soumis aux dispositions de la loi du 12 juillet 1985 susmentionnée ne peuvent, en application du I de l'article 18 de cette loi, recourir à un marché de conception-réalisation, quel qu'en soit le montant, que si des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage.
Ces motifs doivent être liés à la destination ou à la mise en œuvre technique de l'ouvrage.
Sont concernés des opérations dont la finalité majeure est une production dont le processus conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ainsi que des opérations dont les caractéristiques, telles que des dimensions exceptionnelles ou des difficultés techniques particulières, exigent de faire appel aux moyens et à la technicité propres des opérateurs économiques. »

Le choix de cette procédure est dicté par les caractéristiques de l'ouvrage à construire qui imposent l'association de l'entrepreneur aux études. Pour le déterminer, doivent être pris en compte la destination de l'ouvrage ou sa mise en œuvre technique.

Deux types d'opérations sont ainsi visés :
- celles dont la finalité majeure est une production dont le processus conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ;
- celles dont les caractéristiques intrinsèques (dimensions exceptionnelles, difficultés techniques particulières) appellent une mise en œuvre dépendant des moyens et de la technicité des entreprises.

La circulaire n°95-58 du 9 août 1995 précitée précise que « *dans ce cadre, peuvent par exemple relever de ces motifs :*
- *certains ouvrages à grand volume impliquant une structure complexe ;*
- *certains ouvrages en souterrains exceptionnels ;*

---

[2] Sur les pouvoirs adjudicateurs soumis à la loi MOP, il conviendra de se référer à l'article 1er de la loi.

- *certains ouvrages dont la fonction essentielle est constituée par un processus de production d'exploitation qui conditionne sa conception et sa réalisation comme par exemple les cuisines, les blanchisseries ou les procédés de production de chaleur, lorsque ces ouvrages constituent l'essentiel de l'opération ;*
- *la réhabilitation lourde de certains ouvrages existants impliquant des techniques particulières de construction comme des reprises en sous-œuvre, l'intervention sur des structures remettant en cause les descentes de charge. »*

Il est à noter que l'urgence n'est pas un motif de recours à la conception-réalisation : CE, 28 décembre 2001, Conseil régional de l'ordre des architectes d'Auvergne, req. n°221649.

6/ JURISPRUDENCE

Le juge administratif fait une interprétation stricte de ces dispositions et il convient de souligner que le risque contentieux dans ce domaine est loin d'être négligeable.

Le recours à ce marché a été jugé légal pour la réalisation d'un parking souterrain (TA Lyon, 24 juin 1996, M.Chamberlain c/ Conseil régional de l'ordre des architectes de Rhône-Alpes, req n° 960.2420).

En ce qui concerne la réalisation d'un complexe omnisports, il a été considéré que le marché de conception-réalisation était autorisé compte tenu « des dimensions et du volume exceptionnel de l'ouvrage » (TA Strasbourg, 14 novembre 2000, Daniel Delrez c/ ville de Metz, n°99-3999). Cette solution a toutefois été infirmée (CAA Nancy, 5 août 2004, n° 01NC00110).

Il a été en revanche jugé que la réalisation d'un centre de secours hospitalier « dont les spécifications ne diffèrent en rien des contraintes auxquelles est assujetti tout bâtiment de même importance » ne nécessitait pas l'association de l'entrepreneur aux études (TA Orléans, 28 juillet 1994, Conseil régional de l'ordre des architectes de la région Centre, req. n° 94413).

7/ DÉROULEMENT DE LA PROCÉDURE POUR L'ATTRIBUTION DU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION

Versement d'une prime : quelque soit la procédure utilisée, pour les pouvoirs adjudicateurs et les entités adjudicatrices, si les documents de la consultation ont prévu la remise de prestations, une prime doit être accordée aux candidats. Le règlement de la consultation doit préciser ses modalités de versement, son montant ainsi que ses modalités de réduction voire de suppression. Le montant de cette prime est égal au prix estimé des études de conception affecté d'un abattement au plus égal à 20%. La rémunération de l'attributaire tiendra compte de cette prime.

La circulaire n°95-58 du 9 août 1995 invite les pouvoirs adjudicateurs à verser la prime dans les délais les plus courts suivant la réunion du jury.

7.1 - Pouvoirs adjudicateurs soumis au code des marchés publics (article 69)

7.1.1 – Au dessus du seuil communautaire applicable aux marchés de travaux : Appel d'offres restreint (article 69-I)

Au-delà de 5 150 000 € HT, les marchés de conception-réalisation sont passés selon la procédure de l'appel d'offres restreint sous réserve de certaines dispositions dérogatoires : l'intervention d'un jury et l'audition des candidats.

- *Composition du jury*

Le jury de la procédure de conception-réalisation est composé dans les conditions fixées à l'article 24 du CMP. Un tiers au moins de ses membres sont des maîtres d'œuvre désignés par le pouvoir adjudicateur.

Ces maîtres d'œuvre doivent remplir deux conditions cumulatives pour être désignés :
- ils doivent être indépendants des candidats ;
- ils doivent être compétents eu regard de l'ouvrage à concevoir et de la nature des prestations à fournir pour sa conception.

La circulaire n°95-58 du 9 août 1995 précitée signale également à ce sujet que « *cette règle conduit à exclure des maîtres d'œuvre qui seraient des préposés du maître d'ouvrage* ».

Par décision du 25 janvier 2006 (Communauté urbaine de Nantes, req. n°257978), le Conseil d'Etat a considéré qu'en principe, afin notamment d'éviter le risque d'une rupture d'égalité entre les candidats, un jury appelé à donner un avis sur le choix du titulaire d'un marché, tel que le marché de conception-réalisation, ne peut voir sa composition modifiée au cours de la procédure aboutissant à ce choix. La personne publique peut toutefois, dans les cas où cette procédure se décompose en des phases distinctes, choix de candidatures d'une part et choix des offres d'autre part, ce qui est l'hypothèse en procédure de conception-réalisation, procéder entre ces deux phases au remplacement du ou des membres du jury ayant démissionné ou fait savoir qu'ils étaient dans l'impossibilité de siéger.

- *Sélection des candidatures*

Le jury examine les candidatures et formule un avis motivé sur la liste des candidats à retenir.
Le pouvoir adjudicateur, au vu de cet avis, dresse la liste des candidats admis à présenter une offre.

Par dérogation à l'article 41 du code des marchés publics, les pièces de la consultation doivent être remises gratuitement aux candidats sélectionnés.

Le dossier de consultation comporte, outre les pièces habituelles, le programme de l'opération qui doit être détaillé et précis.

- *Examen des offres et audition des candidats*

Les candidats doivent remettre une offre comprenant :
- un APS (avant projet sommaire) pour un ouvrage de bâtiment ou un AVP (avant projet) pour un ouvrage d'infrastructure ;
- la définition des performances techniques de l'ouvrage.

Le jury examine les offres remises et doit auditionner les candidats avant de formuler un avis motivé.
Aucune disposition spécifique ne précise les modalités d'audition des candidats : celles-ci devront néanmoins être indiquées dans le règlement de la consultation et respecter les principes de transparence et d'égalité des candidats.

Aucune phase de dialogue n'est prévue entre le jury et les candidats.
Seul le pouvoir adjudicateur pourra ensuite éventuellement demander aux candidats de clarifier, préciser ou compléter leur offre sans pouvoir en modifier ses caractéristiques principales.

Le marché est ensuite attribué par le pouvoir adjudicateur pour les marchés de l'Etat, des établissements publics de santé et des établissements publics sociaux ou sociaux-médicaux ou par la commission d'appel d'offres pour les collectivités territoriales et les autres établissements publics locaux.

- *Procédure infructueuse*

La procédure d'appel d'offres restreint peut être déclarée infructueuse (article 64-III du CMP) et relancée pour la passation d'un marché négocié (article 35-I-10 du CMP).

7.1.2 – Opérations de réhabilitation : Dialogue compétitif (article 69-II)

En réhabilitation, les marchés de conception-réalisation peuvent être passés selon la procédure du dialogue compétitif si les conditions de recours à cette procédure sont remplies (article 36).
La procédure est alors organisée conformément aux dispositions de l'article 67 du CMP.

7.1.3 – En dessous du seuil communautaire : Procédure adaptée (article 69-III)

Le marché de conception-réalisation dont le montant est inférieur à 5 150 000 € HT, peut être passé selon la procédure adaptée régie par l'article 28 du CMP.