



Direction Territoriale Nord-Est
Direction de l'Ingénierie et de la Maîtrise d'Ouvrage (DIMOA)
Unité Opérationnelle de Nancy
169, rue de Newcastle
CO 80062
54036 Nancy Cedex

Note d'hypothèses générales

RIVIERE DE L'ORNAIN – Barrages de Mussey, Chanteraine, Saint-Joire et de Houdelaincourt



INGEROP Conseil et ingénierie
Agence de Strasbourg

45 Boulevard La Fontaine - BP 13051
67033 Strasbourg Cedex 2
Tél. : +33 3 88 13 60 60
ingerop.strasbourg@ingerop.com

<i>Emetteur :</i>	<i>Etabli par :</i>	<i>Vérifié par :</i>	<i>Date émission :</i>	<i>Date de l'indice :</i>	
INGEROP	N. LUTZWILLER	S. WYTTEBACH	23/11/2022	23/11/2022	
<i>Numéro d'affaire :</i>	<i>Approuvé par :</i>	<i>Phase :</i>	<i>Nom fichier :</i>	<i>Document N°</i>	<i>Indice</i>
EE406600	S.Wyttenbach	AVP	Ornain-Note hypothèses générales_v1.docx	A2	0

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
2. NORMES, REGLEMENTS ET RECOMMANDATION APPLIQUEES	6
2.1 TEXTES GENERAUX :	6
2.1.1 Règlements de calcul et textes réglementaires applicables	6
2.1.2 Règles relatives aux actions sur les structures :	6
2.1.3 Règles relatives aux ouvrages en béton:	6
2.1.4 Règles relatives aux ouvrages en acier:	6
2.1.5 Règles relatives aux ouvrage géotechniques:	6
2.1.6 Règles relatives aux équipements:	7
2.1.7 Règles relatives aux ouvrages de vantellerie :	7
2.2 TEXTES COMPLEMENTAIRES	7
3. DONNEES DU PROJET	8
3.1 DONNEES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES	8
3.2 HYPOTHESES GEOTECHNIQUES	8
3.2.1 Caractéristiques mécaniques	8
3.2.2 Paramètres géotechniques pour le calcul des fondations du barrage	9
3.2.3 Paramètres géotechniques pour le calcul des fondations de la passerelle	10
3.2.4 Remblai	10
3.2.5 Portance et tassement	10
3.3 CARACTERISTIQUES DES PASSES MOBILES	10
4. DIMENSIONNEMENT DES STRCUTURES DE GENIE CIVIL	11
4.1 DESCRIPTION SUCCINCTE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL	11
4.2 SITUATIONS	11
4.2.1 Etats limites de service	11
4.2.2 Etats limites ultimes	11
4.2.3 Batardeaux	12
4.3 COEFFICIENTS DE PONDERATION ET COMBINAISONS D' ACTIONS	12
4.4 MATERIAUX ET CONTRAINTES MAXIMALES ADMISSIBLES	12
4.4.1 Béton de structure	12
4.4.2 Armatures pour béton armé	12
4.4.3 Aciers pour charpente métallique	13
4.4.4 Contraintes maximales admissibles	13
5. DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENT DE VANTELLERIE	14

5.1	DESCRIPTION SUCCINCTE DES EQUIPEMENTS DE VANTELLERIE	14
5.2	CHOIX DE CONCEPTION DES ELEMENTS DE VANTELLERIE	14
5.3	DUREES DE VIE	14
5.4	CHARGES A PRENDRE EN COMPTE	14
5.4.1	Charges permanentes	14
5.4.2	Charges hydrostatiques et hydrodynamiques	14
5.4.3	Charges thermiques	15
5.4.4	Charges dues au vent	15
5.4.5	Frottement	15
5.4.6	Charges hydrostatiques et hydrodynamique : PHEC	15
5.4.7	Surcharge due à la glace	15
5.4.8	Pression due à la glace	15
5.4.9	Choc d'un flottant	15
5.4.10	Blocage du clapet	15
5.4.11	Séisme	15
5.5	SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES VANNES MOBILES	15
5.6	SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES BATARDEAUX	16
5.6.1	Batardeaux amont	16
5.6.2	Batardeaux aval	16
5.7	SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES VANNES DE REGULATION	16
5.8	COMBINAISONS DE CHARGES	16
5.8.1	Combinaisons durables	16
5.8.2	Combinaisons accidentelles	17
5.9	MATERIAUX ET CONTRAINTES MAXIMALES ADMISSIBLES	17
5.9.1	Prise en compte de la corrosion	17
5.9.2	Matériaux constitutifs des équipements de vantellerie	17
5.9.3	Mécanismes	17
5.9.4	Pondérations sur la matière	17
5.9.5	Contraintes maximales admissibles	17
	5.9.5.1 Pour les éléments de structure résistants	17
	5.9.5.2 Pour les éléments mécaniques	18
	5.9.5.3 Déformations maximales admissibles	18
	5.9.5.4 Pressions de contact maximales admissibles	18
	5.9.5.5 Charges transmises au génie civil	18
6.	DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES METALLIQUES	19
6.1	PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT DES PASSERELLES	19
6.2	HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT DE LA PASSERELLE :	19
6.2.1	Matériaux	19
6.2.2	Dimensions	19
6.2.3	Charges	19

6.2.3.1	Charges permanentes	19
6.2.3.2	Charge d'exploitation	19
6.2.3.3	Charges d'embâcles	19
6.2.4	Limitation de la flèche	19
6.3	APPUI DES PASSERELLES :	20
6.4	SECTION DES PROFILES	20
6.5	OUVRAGE BETON PASSERELLE DE HOUDELAINCOURT	20
7.	ANNEXE : CHOIX DE CONCEPTION DES ELEMENTS DE VANTELLERIE	21
7.1	ORIENTATION GENERALE DE CONCEPTION	21
7.2	CHOIX DES PRINCIPES STRUCTURAUX POUR LES CLAPETS	21
7.3	CHOIX DES ORGANES DE MANŒUVRE	22
7.4	BATARDAGE AMONT ET AVAL DES BARRAGES	28

1. INTRODUCTION

Cette note est établie dans le cadre des études de maîtrise d'œuvre pour la reconstruction du barrage d'Apremont.

Elle présente les hypothèses générales de dimensionnement pour l'ensemble des phases d'études AVP.
Le document est à mettre à jour à l'issu des investigations complémentaires.

2. NORMES, REGLEMENTS ET RECOMMANDATION APPLIQUEES

Le cadre réglementaire pour la justification des ouvrages est le suivant :

2.1 TEXTES GENERAUX :

Les règles de calcul à appliquer pour les justifications des ouvrages sont les suivantes (liste non limitative). La signature des pièces du marché impliquera, de la part du Titulaire, sa parfaite connaissance de ses documents ainsi que de ceux du dossier et leur acceptation sans réserve.

2.1.1 Règlements de calcul et textes réglementaires applicables

Les travaux seront à exécuter conformément à tous les décrets, arrêtés, normes et règlements en vigueur à la date de remise de l'offre et en particulier :

➤ **Règles générales :**

➤

- Les Normes Françaises AFNOR,
- La Norme NF EN 1990 et les annexes nationales correspondantes,
- Les Cahiers des Clauses Techniques Générales (CCTG) en vigueur:
 - o Fascicule 4 titre I du CCTG: Armatures pour béton armé,
 - o Fascicule 56 du CCTG: Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion,
 - o Fascicule 65 du CCTG: Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint,
 - o Fascicule 66 du CCTG: Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier,
 - o Fascicule 68 du CCTG: Exécution des travaux de fondation des ouvrages de génie civil
- La réglementation sur la sécurité des travailleurs
- Les réglementations sanitaires en vigueur,
- La circulaire n° 79-25 du 13 Mars 1979: Instruction technique sur les directives communes de 1979 relatives au calcul des constructions.

2.1.2 Règles relatives aux actions sur les structures :

Les Normes Eurocodes et leurs annexes nationales correspondantes:

- NF EN 1991-1-1 : Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments,
- NF EN 1991-1-3 : Charges de neige,
- NF EN 1991-1-4 : Actions du vent,
- NF EN 1991-1-5: Actions thermiques,
- NF EN 1991-1-6 : Actions en cours d'exécution,
- NF EN 1991-1-7 : Actions accidentelles, -NF EN 1991-2 : Actions sur les ponts dues au trafic.

-

2.1.3 Règles relatives aux ouvrages en béton:

Les Normes Eurocodes et leurs annexes nationales correspondantes:

- NF EN 1992-1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1992-2: Ponts en béton — Calcul et dispositions constructives,
- Norme NF EN 206 (version avec complément national du 19 décembre 2014): Béton : spécification, performances, production et conformité,

2.1.4 Règles relatives aux ouvrages en acier:

Les Normes Eurocodes et leurs annexes nationales correspondantes:

- NF EN 1993-1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1993-1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques formés à froid,
- NF EN 1993-1-8 : Calcul des assemblages,
- NF EN 1993-1-9 : Fatigue,
- NF EN 1993-1-10 : Choix des qualités d'acier,
- NF EN 1993-2 : Ponts métalliques,

-

2.1.5 Règles relatives aux ouvrages géotechniques:

Les Normes Eurocodes et leurs annexes nationales correspondantes:

- NF EN 1997-1: Partie 1 - Règles générales - NF P94-261 : Fondations superficielles
- NF P94-282 : Soutènement – Écrans

2.1.6 Règles relatives aux équipements:

- Norme NF EN 1337-3 : Appareils d'appui structuraux –Appareils d'appui en élastomère
- Norme XP P 98-405 : Garde-corps pour ponts et ouvrages de génie civil

2.1.7 Règles relatives aux ouvrages de vantellerie :

- DIN 19704-1 - 2014
- DIN 19704-2 - 2014
- DIN 19704-3 - 2014

2.2 TEXTES COMPLEMENTAIRES

Le Titulaire devra se conformer aux prescriptions données dans les dossiers pilotes et textes du SETRA (et leurs mises à jour), en particulier:

- Collection «Guide technique GC» (SETRA),
- -Guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule I et II (GTR)dossier GC 77,

L'application des Eurocodes se fait avec les adaptations pertinentes pour un ouvrage existant. Ces adaptations sont soumises à la validation du Maître d'œuvre. La conception et le dimensionnement des scellements de barres d'armatures dans le béton armé doivent respecter les recommandations du fascicule FD P 18-823.

En outre, pour le changement d'appareils d'appuis, les textes suivants seront appliqués:

- La note d'information du SETRA n°27 de décembre 2006 sur l'application nationale des normes NF EN 1337,
- Les guides techniques SETRA de 2007 «Appareils d'appuis en élastomère fretté» et «Appareils d'appuis à pot»,
- Le guide technique SETRA –LCPC d'octobre 1978«Environnement des appareils d'appuis en élastomère fretté –Règles de l'art».

Pour les ouvrages de vantellerie, les documents suivants pourront être utilisés :

- L'ensemble des FRT
- Le guide de conception des clapets – Dossier CETMEF

3. DONNEES DU PROJET

3.1 DONNEES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Dans le cadre de la mission MC1, un rapport a été établi. Il est joint au dossier complet.

3.2 HYPOTHESES GEOTECHNIQUES

3.2.1 Caractéristiques mécaniques

Les résultats de la campagne de reconnaissance géotechnique réalisée par GEOTEC en 2015 sur les différents sites sont donnés dans l'annexe de ce document. Les investigations se concentrent principalement sur la zone des barrages existants. Les sondages pressiométriques ont été réalisés jusqu'au substratum (hauteur du toit de substratum variable selon le site).

La stratigraphie établie à partir des résultats de ces reconnaissances comprend depuis la surface les 3 unités principales suivantes :

□ **Houdelaincourt**

- (1) Radier en maçonnerie en béton, d'une épaisseur de 70 cm ;
- (2) Remblai composé d'argile sablo-graveleuse hors barrage), d'une épaisseur de 50 cm ;
- (3) Une Argile sableuse grise, d'une épaisseur de 2,20 m ;
- (4) Du sable calcaire à graviers et bloc calcaire beige, une épaisseur variable entre 1,0 m à 3,7 m ;
- (5) Une marne calcaire grise (substratum).

Une différenciation n'est pas donnée pour les différentes couches. Les caractéristiques mécaniques sont données comme suit :

$$6.25 \leq E_M \leq 55.8 \text{ MPa}$$

$$0.91 \leq p_{l^*} \leq 2.92 \text{ MPa}$$

Les caractéristiques mécaniques du substratum (5) sont données comme suit :

$$45.0 \leq E_M \leq 147 \text{ MPa}$$

$$42.23 \leq p_{l^*} \leq 4.84 \text{ MPa}$$

□ **St. Joire**

- (1) Radier en maçonnerie en béton, d'une épaisseur de 1,20 m ;
- (2) Remblai composé de gravier calcaire (TN), d'une épaisseur de 40 cm ;
- (3) Une Argile sableuse grise, d'une épaisseur de 2,60 m ;
- (4) Du sable calcaire à graviers et bloc calcaire beige, une épaisseur variable entre 2,4 m à 4,5 m ;
- (5) Une marne calcaire grise (substratum).

Une différenciation n'est pas donnée pour les différentes couches. Les caractéristiques mécaniques sont données comme suit :

$$6.79 \leq E_M \leq 31.3 \text{ MPa}$$

$$0.61 \leq p_{l^*} \leq 1.11 \text{ MPa}$$

Les caractéristiques mécaniques du substratum (5) sont données comme suit :

Ses caractéristiques géomécaniques sont moyennes en tête :

$$14.7 \leq E_M \leq 15.9 \text{ MPa}$$
$$0.49 \leq p_l^* \leq 0.91 \text{ MPa}$$

A très élevées en profondeur :

$$E_M > 100 \text{ MPa}$$
$$p_l^* > 4.5 \text{ MPa}$$

□ **Chanteraine**

- (1) Une maçonnerie en calcaire (moellons de pays maçonnés), d'une épaisseur de 90 cm ;
- (2) Une maçonnerie en béton (barrage à aiguilles) d'une épaisseur variant entre 0,30 à 1,50 m selon les sondages;
- (3) Remblais composés d'argile sableuse marron à passage sablo-graveleuse (TN), d'une épaisseur de 2,0 m ;
- (4) Cailloux, graviers et blocs calcaires à légère matrice sableuse), une épaisseur de 2,0 m;
- (5) Sable calcaire beige/orange à graviers et cailloux beige, d'une épaisseur de 50 cm ;
- (6) Une marne calcaire grise (substratum).

Uniquement les caractéristiques mécaniques globales sont données comme suit :

$$47.4 \leq E_M \leq 500 \text{ MPa}$$
$$4.11 \leq p_l^* \leq 6.64 \text{ MPa}$$

□ **Mussey**

- (1) Graviers et cailloux à légère matrice argileuse ;
- (2) Une Marne à blocs calcaire beige ;
- (3) Des marno-calcaire à calcaire beige (substratum).

Les caractéristiques mécaniques sont données comme suit :

$$3.91 \leq E_M \leq 33.8 \text{ MPa}$$
$$0.45 \leq p_l^* \leq 2.37 \text{ MPa}$$

$$11.8 \leq E_M \leq 23.4 \text{ MPa}$$
$$1.66 \leq p_l^* \leq 3.66 \text{ MPa}$$

$$21.1 \leq E_M \leq 256 \text{ MPa}$$
$$2.58 \leq p_l^* \leq 4.89 \text{ MPa}$$

La maçonnerie identifiée correspond au raider ou la rehausse de barrage. L'épaisseur varie entre 0,3 m à 2,0 m.

3.2.2 Paramètres géotechniques pour le calcul des fondations du barrage

- Justification aux états limites de mobilisation du sol :

La contrainte admissible de référence⁽¹⁾ sous le barrage ne dépassera pas 4 kg/cm²

⁽¹⁾ Contrainte de référence :

$$q_{\text{ref}} = \frac{3q_{\text{max}} + q_{\text{min}}}{4}$$

avec :

q_{max} et q_{min} , les pressions de contact max et min entre la fondation et le sol.

- Justification aux états limites de glissement :

γ_t , kN/m³ ϕ' , ° c' , kN/m²

Donnée	Valeur		
Unité	γ_t , kN/m ³	ϕ' , °	c' , kN/m ²
Terrain, barrage	25	30	0
Calcaire altéré	20	30	0

On retiendra pour l'étude au glissement un angle δ de sorte que $\tan \delta = \tan (2/3\phi')$.

3.2.3 Paramètres géotechniques pour le calcul des fondations de la passerelle

- Justification aux états limites de mobilisation du sol :

Si la passerelle est fondée dans le terrain de couverture, $q_{ref\ max} = 2\ kg/cm^2$

Si la passerelle est fondée sur le calcaire, $q_{ref\ max} = 4\ kg/cm^2$

- Justification aux états limites de glissement :

Les paramètres seront identiques à ceux pris pour le barrage, $\tan \delta = \tan (2/3\phi')$ et une cohésion $c' = 0$.

3.2.4 Remblai

A ce stade, les investigations ne comprennent pas l'établissement d'un modèle géotechnique.

De ce fait, des hypothèses des valeurs caractéristiques de la pression limite et du module pressiométrique pour chaque unité sont les suivantes :

Donnée	Valeur
Poids volumique	2,0 T/m ²
Angle de frottement au droit du barrage en interface avec l'existant	35 °
Cohésion	0 °
Coefficient de poussée, k_a	0,33

3.2.5 Portance et tassement

Les rapports géotechniques G2-AVP précise un bon comportement de la fondation au droit du barrage existant. Un tassement n'est pas pris en compte à ce stade. Hors des zones investiguées, des nouvelles hypothèses sont à prendre à l'issue des investigations complémentaires.

3.3 CARACTERISTIQUES DES PASSES MOBILES

Le cotes pour les barrages sont retenues comme suit :

Désignation	Barrage			
	Houdelaincourt	St. Joire	Chanteraine	Mussey
	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur
Nombre de passes	2	2	3	3
Entr'axe des piles	7.55	8.35	12.05	13.3
Largeur maximale des piles	1.6	1.6	1.6	1.6
Largeur hydraulique utile minimale des passes	15.1	16.7	36.15	39.9
Niveau de retenue normal	281.58	261.66	177.39	162.85
Niveau du seuil amont	280.76	260.68	175.87	161.95
Niveau d'arase amont des piles	Cf. plan	Cf. plan	Cf. plan	Cf. plan
Niveau d'arase des vannes mobiles en position fermée	281.73	261.81	177.54	163.00
Niveau du radier aval	Cf. plan	Cf. plan	Cf. plan	Cf. plan

4. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE GENIE CIVIL

4.1 DESCRIPTION SUCCINCTE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

On distingue les ouvrages suivants :

- Le nouveau barrage mobile
- La passerelle de service
- La passe à poissons

Une description des solutions est donnée en chaque rapport de barrage.

Actions à prendre en compte :

- Actions appliquées au barrage

Les actions à prendre en compte pour le barrage sont les suivantes :

- Poids propre des éléments (avec passerelle construite ou non)
- Efforts amenés par la bouchure dans les différentes situations
 - Efforts aux niveaux des paliers et vérins dans le cas d'un clapet
 - Efforts aux niveaux des ancrages le long du boudin dans le cas d'une bouchure gonflable à volet métallique
- Pressions hydrostatiques
 - Pression hydrostatique en cas de batardage
 - Poids mort de l'eau sur les seuils
 - Sous-pression de l'eau sous le radier
- Réactions d'appui de la passerelle
- Poussées des terres
- Actions appliquées à la passerelle

Les actions à prendre en compte pour le barrage sont les suivantes :

- Poids propre des éléments,
- Surcharge générales a(l) et surcharges locales (450 kg/m²)
- Autres surcharges d'exploitation : Néant
- Vent (1250 N/m²)
- Chocs accidentels d'embâcles : néant
- Variations de température (+30°C/-40°C),
- Gradient thermique ($\pm 12^{\circ}\text{C}$)
- Actions dynamiques
 - Séisme : Zone 0
 - Confort vibratoire : classe III (cf. guide méthodologique SETRA – 03/2006)

4.2 SITUATIONS

Pour l'étude des structures, les situations de projet se calqueront sur les situations définies pour les vannes mobiles.

4.2.1 Etats limites de service

Les situations prises en compte dans les différents états limites de service sont données ci-après :

Etats Limites de Service Quasi-Permanent (ELSQP) :

- les situations durables et transitoires pour les bouchures mobiles,
- les situations durables pour les batardeaux.

Etats Limites de Service Rares (ELSR) :

- les situations accidentelles pour les bouchures mobiles,
- les situations accidentelles pour les batardeaux.

4.2.2 Etats limites ultimes

Les situations prises en compte dans les différents états limites ultimes sont données ci-après :

Etats Limites Ultimes Fondamentaux (ELU) :

- les situations durables et transitoires pour les bouchures mobiles,
- les situations durables pour les batardeaux,
- les situations accidentelles pour les bouchures mobiles hormis SA3,
- les situations accidentelles pour les batardeaux.

Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) :

- la situation accidentelle SA3 pour les bouchures mobiles (rupture d'un barrage amont).

A titre conservatoire, seule la situation « rupture d'un barrage amont » a été assimilée à un cas accidentel pour la justification des structures en béton.

4.2.3 Batardeaux

Il est supposé qu'on ne batarde qu'une seule passe à la fois.

4.3 COEFFICIENTS DE PONDERATION ET COMBINAISONS D'ACTIONS

On désigne par :

G _{max} :	les actions permanentes défavorables
G _{min} :	les actions permanentes favorables
G _w :	les actions provenant de l'eau et de la bouchure
F _w :	Actions hydrodynamiques
Q :	les surcharges d'exploitation sur la passerelle ou les remblais
W :	la pression du vent
T :	la dilatation thermique
GR :	le gradient thermique
Y _w :	1.35 ou 1.00 selon le caractère favorable ou défavorable de l'action de l'eau.

- Etats Limites Ultimes de service (ELS) :

Combinaisons quasi-permanentes

G_{max} + G_{min} + G_w

Combinaisons rares

G_{max} + G_{min} + G_w + Q + 0.6T + 0.5GR + F_w

G_{max} + G_{min} + G_w + W + F_w

- Etats Limites Ultimes de service (ELU) :

- Combinaisons fondamentales

1.35G_{max} + G_{min} + Y_w G_w + 1.5Q + F_w

1.35G_{max} + G_{min} + Y_w G_w + 1.5W + F_w

Combinaisons accidentelles

G_{max} + G_{min} + G_w + F_w

Les coefficients de pondération ne se cumulent pas avec ceux donnés au § 4.3 (coefficient global pour l'action).

4.4 MATERIAUX ET CONTRAINTES MAXIMALES ADMISSIBLES

4.4.1 Béton de structure

Classe de résistance :	C40/50
Résistance à la compression :	f _{c28} =40 MPa
Résistance à la traction :	f _{t28} =3.0 MPa

4.4.2 Armatures pour béton armé

Aciers HA FeE500 :	f _e =500 MPa
Aciers doux AdxFeE235 :	f _e =235 MPa

Enrobage des aciers : 5 cm
La fissuration est considérée comme étant très préjudiciable.

4.4.3 Aciers pour charpente métallique

Aciers S355 (NF EN 10025)
Limite élastique ($e_p < 40\text{mm}$) : $f_y = 345\text{ MPa}$
Résistance à la rupture ($e_p < 100\text{mm}$) : $f_u = 490\text{ MPa}$

4.4.4 Contraintes maximales admissibles

- Béton

Compression à l'ELU : $f_{cd} = 0.85 \times f_{c28} / 1.5$
Compression à l'ELS : $\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$

- Armatures pour béton armé

Traction à l'ELU : $\sigma_{su} = f_e / 1.15$
Traction à l'ELS aciers HA : $\sigma_{st} = 200\text{ MPa}$
Traction à l'ELS aciers Adx : $\sigma_{st} = 125.3\text{ MPa}$

- Aciers de charpente

Contrainte normale à l'ELU : f_y
Contrainte cisaillement à l'ELU : $0.6f_y$

5. DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENT DE VANTELLERIE

5.1 DESCRIPTION SUCCINCTE DES EQUIPEMENTS DE VANTELLERIE

Chaque site est équipé avec les éléments suivants :

- Clapets : 2 ou 3 en fonction des sites
- Vérins de manœuvre hydrauliques pour les clapets – 2 à 6 vérins par site
- De batardeaux amont
- De batardeaux aval
- De vannes de régulation

Le site de Mussey pourrait être équipé d'une microcentrale hydroélectrique. En complément, des éléments cités ci-avant, ce site sera équipé :

- D'une grille en amont de la microcentrale
- De batardeaux amont pour la passe de la microcentrale

5.2 CHOIX DE CONCEPTION DES ELEMENTS DE VANTELLERIE

Voir annexe au présent document

5.3 DUREES DE VIE

Structures des vannes et des pièces fixes	70 ans
Structures et éléments électromécaniques	15 ans
Charpentes métalliques	50 ans
Pièces mécaniques	
Vérins	15 ans
Joints d'étanchéité	15 ans

5.4 CHARGES A PRENDRE EN COMPTE

5.4.1 Charges permanentes

Le poids propre des éléments est calculé directement par le logiciel de calcul. Dans le modèle de calcul, le poids propre sera majoré de 20% pour tenir des éléments non modélisé (joints, visserie) ainsi que pour la peinture et les soudures.

5.4.2 Charges hydrostatiques et hydrodynamiques

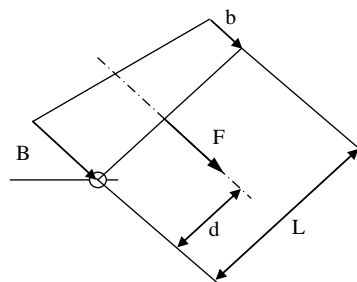
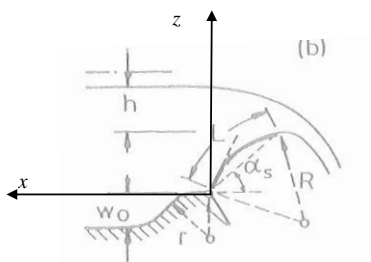
Masse de l'eau [kg/m ³]	1000
Accélération de la pesanteur [m/s ²]	9,81

Les charges hydrostatiques sont calculées en fonction des hauteurs d'eau pour chaque clapet.

La plage de fonctionnement du clapet est comprise entre 5° pour un clapet ouvert et 70° pour un clapet relevé. Les positions de clapet étudiées sont : 70°, 40°, 25° et 5°.

La poussée hydrodynamique sera appliquée sur la base des abaques de Castro. Celles-ci donnent l'effort horizontal et vertical appliqués au centre de poussée de la charge d'eau amont, le moment correspondant appliqué sur l'axe des charnières et la position du centre de poussée.

Pour déterminer les pressions à appliquer sur le bordé du clapet, il est pris comme hypothèse que la répartition peut être assimilée à un trapèze représentant la charge d'eau.



Représentation de la poussée hydrodynamique

Lorsqu'il n'y a pas ou peu de déversement, la charge hydrostatique est prise en compte.

5.4.3 Charges thermiques

Sans objet.

5.4.4 Charges dues au vent

Sans objet.

5.4.5 Frottement

Comme indiqué dans le dossier type des vannes clapet – tome II pages 40 et 41, les efforts de frottement des joints peuvent atteindre 2% de l'effort de manœuvre. L'effort de manœuvre sera donc majoré de 2% pour tenir compte des frottements des joints.

Une majoration supplémentaire de 2% sera prise en compte pour tenir compte des efforts de frottement au niveau des paliers.

5.4.6 Charges hydrostatiques et hydrodynamique : PHEC

Sans objet.

5.4.7 Surcharge due à la glace

Sans objet.

5.4.8 Pression due à la glace

En considérant des clapets de type VDP1 et un dimensionnement selon le référentiel technique du guide CETMEF, l'épaisseur de glace maximale retenue est de 12 cm.

Clapet	Hauteur utile [m]	Epaisseur de glace pour le tablier [cm]	Epaisseur de glace pour les organes de manœuvre [cm]
Houdelaincourt (VDP1 10M)	0,97	2,4	2,4
Saint Joire (VDP1 10M)	1,13	2,8	2,8
Chanteraine (VDP1 20M)	1,67	10,0	10,9
Mussey (VDP1 20M)	1,05	6,3	6,9

Pour l'ensemble des clapets, nous retiendrons une pression de glace de 150 kN/m² appliquée sur les 12 cm à partir du niveau amont normal.

5.4.9 Choc d'un flottant

Sans objet.

5.4.10 Blocage du clapet

Non étudié.

5.4.11 Séisme

Non étudié.

5.5 SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES VANNES MOBILES

Cas normal d'exploitation

- RN amont normal +30 cm ;

- RN aval : hors d'eau ;
- Plage de fonctionnement du clapet : 5 à 70°.

Cas accidentel 1 : glace

- RN amont normal ;
- RN aval : hors d'eau ;
- Epaisseur de glace de 12 cm ;
- Clapet à 70°.

Cas accidentel 2 : perte du palier de manœuvre

- RN amont normal +30 cm ;
- RN aval : hors d'eau ;
- Clapet à 70°.

Cas accidentel 3 : un seul organe de manœuvre opérationnel (pour les clapets à 2 organes de manœuvre)

- RN amont normal +30 cm ;
- RN aval : hors d'eau ;
- Plage de fonctionnement du clapet : 5 à 70°.

5.6 SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES BATARDEAUX

5.6.1 Batardeaux amont

Cas normal d'exploitation

- RN amont normal +30 cm ;
- RN aval : hors d'eau ;

Cas accidentel 1 :

- RN amont : Hauteur max du batardeau ;
- RN aval : hors d'eau ;

5.6.2 Batardeaux aval

Cas normal d'exploitation

- Amont : hors d'eau ;
- RN aval normal +30 cm ;

Cas accidentel 1 :

- Amont : hors d'eau ;
- RN aval : Hauteur max du batardeau ;

5.7 SITUATIONS DE CHARGEMENT POUR LES VANNES DE REGULATION

Cas normal d'exploitation

- RN amont normal +30 cm ;
- RN aval : hors d'eau ;

Cas accidentel 1 : coincement

- Effort max développable par la motorisation ;

5.8 COMBINAISONS DE CHARGES

5.8.1 Combinaisons durables

	Charges permanentes	Charges d'exploitation	
Dénomination	G	Hydrostatique	Hydrodynamique + frottements
ELU-1	1,35	1,5	1,5

ELS-1	1	1,1	1,1
-------	---	-----	-----

5.8.2 Combinaisons accidentelles

	Charges permanentes	Charges d'exploitation		Charge accidentelle
Dénomination	G	Hydrostatique	Hydrodynamique + frottements	Charge accidentelle
ELU-Acc	1,35	1,1	1,1	1,1
ELS-Acc	1	1	1	1

5.9 MATERIAUX ET CONTRAINTES MAXIMALES ADMISSIBLES

5.9.1 Prise en compte de la corrosion

Aucune surépaisseur de corrosion n'est prise.

5.9.2 Matériaux constitutifs des équipements de vantellerie

Les clapets sont en acier S355 avec des caractéristiques mécaniques sont :

Matériau	ρ [kg/m ³]	Module d'Young [MPa]	Coefficient de poisson	Module de cisaillement [MPa]
S 355	7850,0	210 000	0,3	81 000

Les limites d'élasticités sont données dans le tableau suivant :

Epaisseur (mm)	$e \leq 16$	$16 < e \leq 40$	$40 < e \leq 63$	$63 < e \leq 80$	$80 < e \leq 100$	$100 < e \leq 150$
Limite élastique f_y (MPa)	355	345	335	325	315	295
Limite ultime f_u (MPa)	470	470	470	470	470	470

Norme : EN 10025

5.9.3 Mécanismes

Les axes d'articulation sont en acier inoxydable Z30C13 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Matériau	Désignation	Traitement thermique	Rm (MPa)	Rp 0.2% (MPa) (noté aussi Re)	Dureté HB	Allongement A (%)
1 Z30C13	1.408 – X30Cr13	trempe	850 / 1000	650	250	10

Norme : NF EN 10088

5.9.4 Pondérations sur la matière

Référence : DIN 19704-1 et 18800-1

Résistance des éléments de structure :	$\gamma_{M0} =$	1,1
Résistance des assemblages :	$\gamma_{M2} =$	1,25
Résistance des mécanismes :	$\gamma_{Mm} =$	1,5

5.9.5 Contraintes maximales admissibles

5.9.5.1 Pour les éléments de structure résistants

Aux ELU, la contrainte équivalente de Von Mises doit vérifier :

$$\sigma_E \leq \frac{f_y}{1,1}$$

5.9.5.2 Pour les éléments mécaniques

Les axes seront dimensionnés selon la NF EN1993-1-8 §3.13 relatif aux attaches par axes d'articulation.

5.9.5.3 Déformations maximales admissibles

Les déformations admissibles pour les clapets seront de :

- L/300 pour un clapet manœuvré par un seul vérin
- L/600 pour un clapet manœuvré par deux vérins

5.9.5.4 Pressions de contact maximales admissibles

Les pressions de contact admissibles sur les bagues bronze sont de :
30 MPa en statique

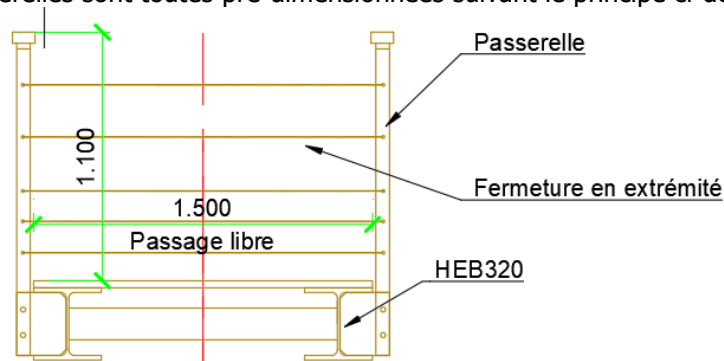
5.9.5.5 Charges transmises au génie civil

La pression maximale transmise au génie civil sera de 5 MPa.

6. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES METALLIQUES

6.1 PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT DES PASSERELLES

Les passerelles sont toutes pré-dimensionnées suivant le principe ci-dessous :



- 2 poutres HEB sont reliées par des entretoises.
- Les garde corps sont fixés directement sur les poutres HEB et ont une hauteur dessus caillebotis de 1.10 m.

La passerelle ne sera pas accessible au public. Chaque travée des passerelles seront isostatiques.

6.2 HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT DE LA PASSERELLE :

6.2.1 Matériaux

Les profilés sont du type HEB (poutres) et IPE (entretoises). La nuance d'acier est S355 ($f_y = 355$ MPa). Le chemin est en caillebotis de type MEISER ou équivalent avec une maille de 24 mm $h=30$ mm et une épaisseur de maille de 4 mm.

6.2.2 Dimensions

La largeur de passage prise est de 1.5m. Les portées maximales prises pour le prédimensionnement sont les suivantes :

- Houdelaincourt : 13.2 m
- Saint Joire : 12.7 m
- Chanteraine : 14 m
- Mussey : 15 m

6.2.3 Charges

6.2.3.1 Charges permanentes

Les charges permanentes sont les suivantes :

- Poids caillebotis : 60 daN/m²
- Poids garde-corps : 100 daN/ml
- Pp des profilés suivants leurs dimensions

6.2.3.2 Charge d'exploitation

A ce stade du projet, il a été pris en compte une charge de piéton de 5 kN/m². Cette charge permet d'envelopper les charges de vents et de neiges. Aucun véhicule ne peut emprunter l'ouvrage. Un dispositif de sécurité est donc à mettre en place pour éviter qu'un véhicule pénètre sur l'ouvrage.

6.2.3.3 Charges d'embâcles

La charge d'embâcle n'est pas prise en compte étant donné que la passerelle se situe au-dessus du niveau d'eau maximum.

6.2.4 Limitation de la flèche

A ce stade du projet, la flèche est limitée :

- Sous charge G+Q à L/200
- Sous charge Q à L/500

6.3 APPUI DES PASSERELLES :

La passerelle reposera sur les appuis existants (piles, culées) où sera installée des appuis de type néoprènes. **Une étude de vérification de l'existant devra être réalisée pour vérifier la capacité des appuis existants.**

6.4 SECTION DES PROFILES

Pour toutes les passerelles, les entretoises sont des IPE 100 avec un espacement de 1 mètre. Les poutres HEB sont les suivantes :

- Houdelaincourt : HEB 320
- Saint-Joire : HEB 320
- Chanteraine : HEB 340
- Mussey : HEB 360

6.5 OUVRAGE BETON PASSERELLE DE HOUDELAINCOURT

En annexe de la passerelle de Houdelaincourt se trouve un franchissement de portée 2.40 m. Cet ouvrage sera réalisé en dalle béton et sera posé sur les voiles qui ont une épaisseur de 40 cm.

7. ANNEXE : CHOIX DE CONCEPTION DES ELEMENTS DE VANTELLERIE

7.1 ORIENTATION GENERALE DE CONCEPTION

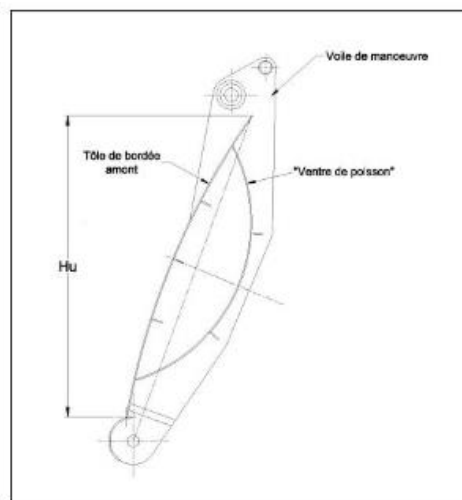
L'orientation principale de conception des éléments de vantellerie pour la reconstruction des 4 barrages est la standardisation des équipements.

Cette orientation a conduit à :

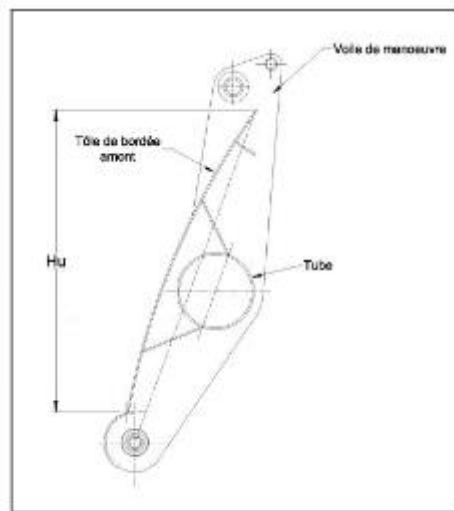
- Choisir un unique type de clapets avec une conception s'adaptant aux dimensions de chaque barrage
- Définir un unique type d'articulations de clapet
- Définir des organes de manœuvres et leur supports identiques

7.2 CHOIX DES PRINCIPES STRUCTURAUX POUR LES CLAPETS

Le choix principal concernant la structure du clapet porte sur le type de caisson de torsion : du type « ventre de poisson » ou à tube de torsion.



Clapet type ventre de poisson



Clapet type tube de torsion

Lors de l'AVP, les deux types de solutions ont été modélisées et les résultats, en termes de déformée et de contraintes, sont sensiblement équivalents.

Le choix technologique retenu s'est fait à partir du tableau ci-après :

	Clapet « ventre de poisson »	Clapet tube de torsion
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication à partir de tôles du commerce - Encombrement général au niveau du radier faible - Bien adapté pour une structure monolithique mécanosoudée - Coût de fabrication moins élevé 	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicité structurale - Bien adapté pour une structure monolithique mécanosoudée
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Caissons étanches dus aux petites dimensions des clapets 	<ul style="list-style-type: none"> - Caissons étanches dus aux petites dimensions des clapets - Coût de fabrication plus élevé

Sur la base des avantages / inconvénients listés précédemment, le choix s'est porté sur des clapets type « ventre de poissons »

7.3 CHOIX DES ORGANES DE MANŒUVRE

En fonction des dimensions des bouchures, il a été retenu une répartition des organes de manœuvre (OM) comme suit :

- Houdelaincourt : 1 OM
- Saint-Joire : 1 OM
- Chanteraine : 2OM
- Mussey : 2OM

Cette répartition permet de limiter le nombre d'organes de manœuvre et donc de réduire les coûts de fabrication et maintenance.

Les DDC calculées dans la note de prédimensionnement des ouvrages de vantellerie sont les suivantes :

	Houdelaincourt	Saint-Joire	Chanteraine	Mussey
Hauteur utile [m]	0,970	1,130	1,670	1,050
Largeur utile [m]	7,55	8,35	12,05	13,30
Type de clapet	VDP1	VDP1	VDP1	VDP1
Nombre de vérin par clapet	1	1	2	2

ELS - daN	Effort par vérin			
Cas durable - manœuvre	4 375	5 702	7 967	3 739
Cas exceptionnel - glace	17 021	20 274	17 369	15 544
Cas exceptionnel - perte vérin	-	-	10 464	5 911

Course du vérin [m]	1,963	2,216	3,041	2,071
---------------------	-------	-------	-------	-------

ELU - daN	Effort par vérin			
Cas durable - manœuvre	6 314	8 258	11 845	5 432
Cas exceptionnel - glace	18 820	22 423	19 207	17 172
Cas exceptionnel - perte vérin	-	-	11 747	6 996

Dans le but de standardiser les équipements, il a été retenu que l'organe de manœuvre serait identique sur les ouvrages à 1OM et sur ceux à 2 OM.

Les types d'organes de manœuvre pouvant être mis en place sont les suivants :

- le vérin hydraulique : il est utilisable sur toutes les classes de tablier,
- le vérin électromécanique : il est utilisable sur toutes les classes de tablier,
- le motoréducteur électrique, il est utilisable uniquement sur les tabliers avec un seul organe de manœuvre. Les difficultés de synchronisation et les conditions de calcul en situation accidentelle dissuadent son utilisation sur les tabliers avec deux organes de manœuvre,
- le cric à crémaillère : il est utilisable uniquement sur les tabliers dont l'effort de manœuvre est inférieur à 15 tonnes et la largeur à 12 m. Ce type d'organe de manœuvre sera plutôt réservé aux clapets équipant les barrages de prise d'eau dont la nécessité de régulation est moindre.

Suite à cette première analyse, seuls les vérins hydrauliques ou électromécaniques sont retenus.

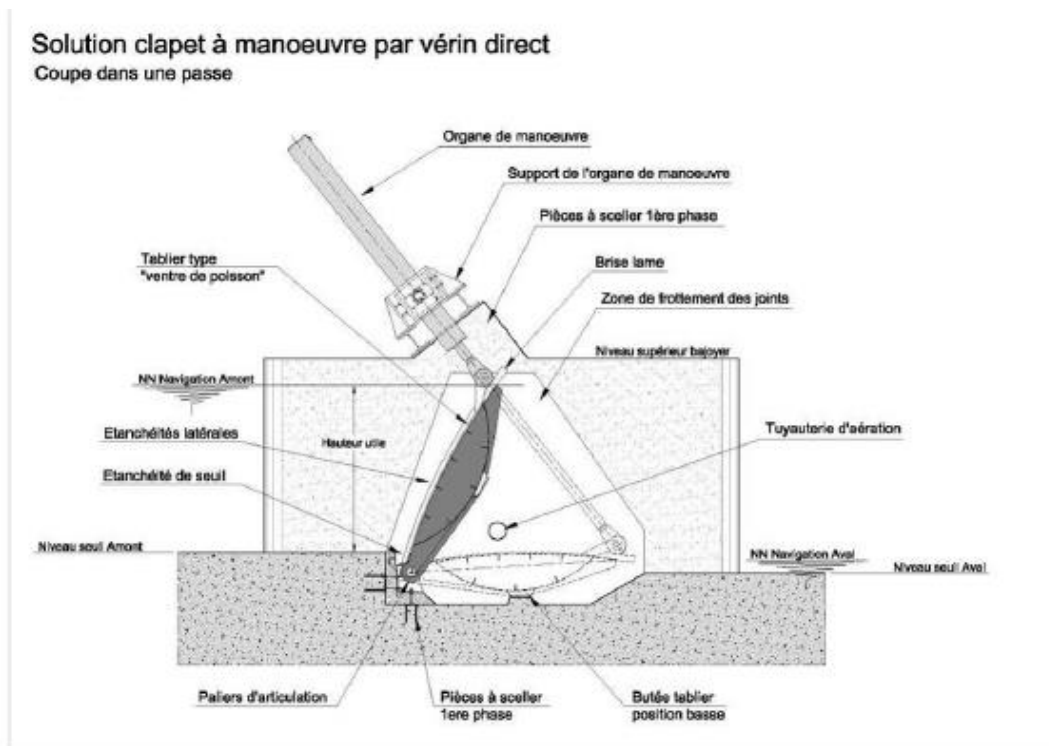
Les avantages et les inconvénients des deux solutions sont les suivants :

	Vérin hydraulique	Vérin électromécanique
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Très bonne fiabilité globale (Rex important) - Supporte bien les chocs (dissipation de l'énergie induite par les surcharges par frottement visqueux) - Possibilité de descentes gravitaires en cas de coupure d'énergie - Standardisation aisée - Nombreux fournisseurs : Pas de dépendance de VNF vis-à-vis du fabricant que ce soit pour les pièces à remplacer ou pour la maintenance - - vérin standard « sur étagère » - Réglage simple - Plages d'efforts admissibles grandes - Coût 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne fiabilité globale mais Rex faible - Standardisation possible
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Risque léger de pollution en cas de fuite d'huile (utilisation d'huile BIO) 	<ul style="list-style-type: none"> - Supporte mal les chocs - Pas de possibilité de descente gravitaire - Très peu de Fournisseurs : grande dépendance de VNF vis-à-vis du fabricant - Vérin sur mesure - Réglage complexe des fins de course et des limiteurs de pression - Cout élevé

Sur la base des avantages / inconvénients listés précédemment, le choix s'est porté sur des vérins hydrauliques.

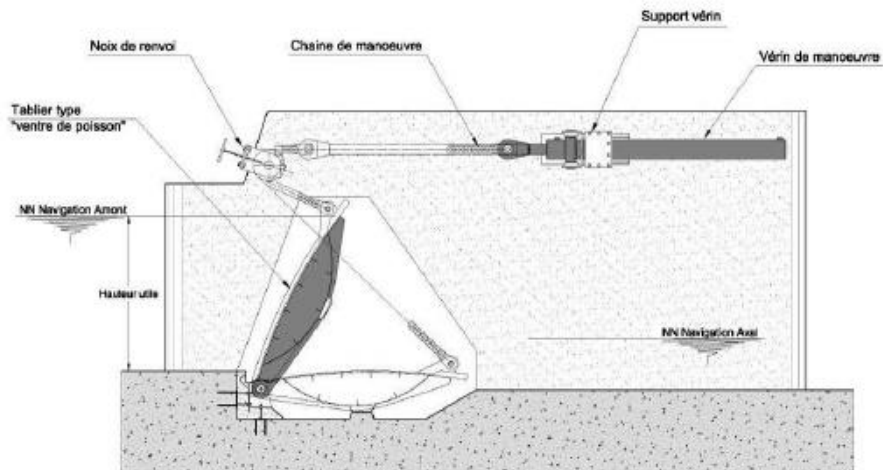
Différentes solutions de montage des vérins hydrauliques peuvent être mises en place :

- Vérin en prise directe avec brimbale



- Vérin à l'horizontal + poulie + câble

Solution clapet à manoeuvre par vérin et chaîne Coupe dans une passe



Les avantages et les inconvénients de chaque solution sont listés dans le tableau suivant :

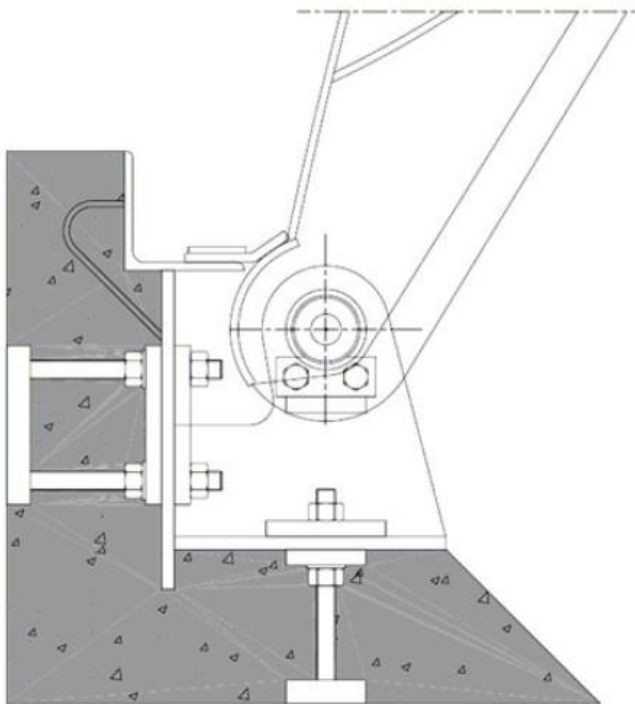
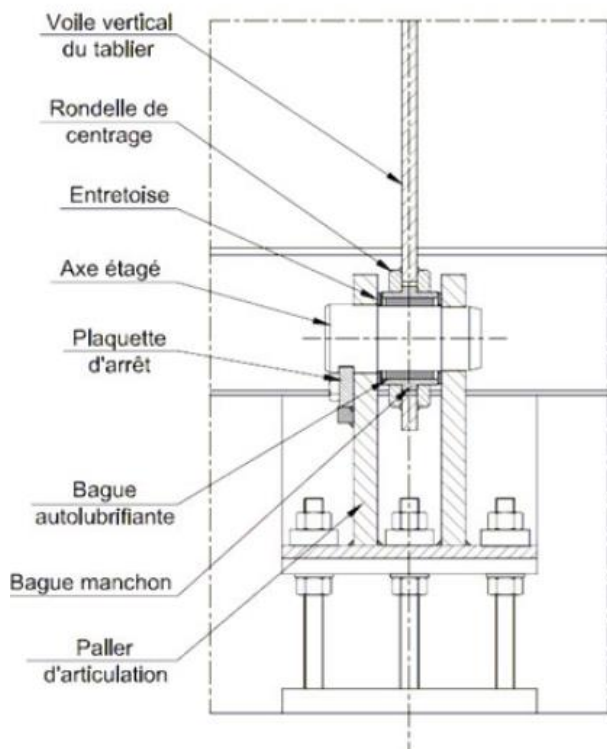
	Sens de travail du vérin	Position de la tige tablier en haut	Accessibilité	Esthétique	Coût	Dimension de l'ouvrage GC	Maintenance
Attache directe	Tirant	Rentrée	++	-	+	+	++
Chaîne et renvoi	Tirant	Rentrée	++	+	--	--	-

Sur la base des avantages / inconvénients listés précédemment, le choix s'est porté sur des vérins en prise directe avec brimbale

Choix des paliers d'articulations

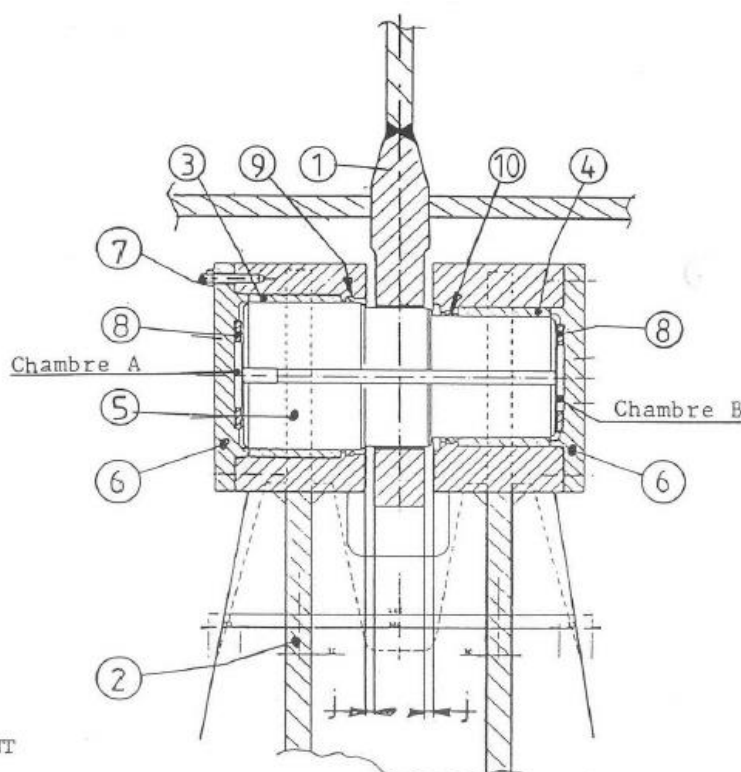
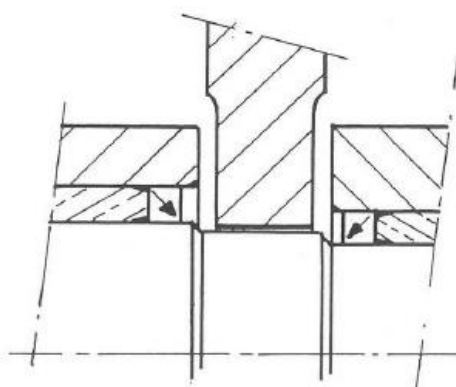
Deux types de paliers peuvent être mis en œuvre pour les clapets :

- Palier simple



- Palier type Lubaqua

Détail :



- 1 CHAPE DU CLAPET
- 2 CHARNIERE PARTIE FIXE
- 3 & 4 COUSSINET AUTO-LUBRIFIANT
- 5 AXE ACIER Z30C13 AVEC 6-PANS CENTRAL
- 6 COUVERCLE
- 7 FIXATION
- 8 RONDELLES AXIALES DE FROTTEMENT
- 9 & 10 ETANCHEITES

Les deux paliers remplissent la fonction de rotation souhaitée. Cependant les paliers Lubaqua, d'un coût de fabrication plus élevé, sont de conception plus robuste et garantissent une tenue dans le temps bien supérieure au palier simple.

Les paliers étant sous le niveau d'eau et leur maintenance imposant un démontage quasi systématique du clapet, il a été retenu de mettre en place des paliers de type Lubaqua.

7.4 BATARDAGE AMONT ET AVAL DES BARRAGES

Afin d'assurer la maintenance des ouvrages, il est envisagé de les équiper de batardeaux amont et aval.

De nombreux systèmes de batardage existent et sont plus ou moins bien adaptés en fonction des dimensions utiles des passes à batardeur. Il est possible de citer :

- batardeau à aiguilles.
- batardeau flottant,
- batardeau en éléments superposables en une seule largeur
- batardeau en éléments superposables en plusieurs largeurs
- batardeau vertical en un seul élément.

Dans le but d'optimiser les coûts , une solution technique commune à tous les sites est recherchée.

Les batardeaux flottants, les batardeaux en éléments superposables en une seule largeur et les batardeaux verticaux en un seul élément ne sont donc pas compatibles.

Les batardeaux à aiguilles imposent la mise en place d'une poutre supérieure. Ces poutres seraient à mettre en place par grutage. En raison des dimensions différentes de chaque ouvrage, seules aiguilles pourraient être mutualisées.

Dans cette volonté de mutualisation des équipements souhaités et au vu des dimensions des ouvrages, de leur faible hauteur et des conditions d'accès, il a donc été retenu comme solution un batardage amont et aval par mise en place d'éléments superposable en plusieurs largeurs et manportables.

