

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu clément et miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercier Mlle CHAYOUB HASNAA pour sa patience et sa coopération le long de cette période.

A tous les enseignants de l'ENSAM-MEKNES sans exception qui contribuent à la formation des ingénieurs d'états arts et métiers avec beaucoup de dévouement et de compétence.

Mes remerciements s'adressent, également, aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail

Enfin, mes plus vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu

Abdelilah SERDI

Table des matières

Présentation de la société.....	3
Introduction au sujet.....	11
Généralités	12
Historique	12
Fonctions d'un barrage.....	12
Types de barrages.....	12
L'importance du drainage.....	14
Les évacuateurs de crues.....	15
La vidange de fond.....	16
Les vannes segments.....	17
Dimensionnement des vannes segments.....	18
Calcul de la force hydrostatique	18
Dimensionnement des barres horizontales.....	20
Dimensionnement des raidisseurs.....	29
Dimensionnement des barres verticales.....	30
Dimensionnement des bras.....	34
Estimation du poids totale de la vanne.....	36
Elaboration de la feuille EXCEL	37
Conclusion.....	40
Bibliographie	45

1 Présentation de la société



NOVEC est le fruit de la fusion entre les sociétés **Ingema** et **Scet-Scom**, dont CDG Développement est l'actionnaire de référence.

NOVEC regroupe désormais les activités des deux bureaux d'étude, dont il convient de rappeler les plus importantes :

- **Scet-Scom** (fondée en 1958) : Bâtiment, Aménagements urbains, Agriculture et développement rural, Alimentation en eau et Assainissement.
- **Ingéma** (fondée en 1973) : Grandes infrastructures (Barrages, Autoroutes, Ouvrages d'art, Ports, Tunnels), Ressources en eau, Energie et Environnement.

emploie près de 600 collaborateurs, intervient dans des domaines d'activité variés et dispose de nombreuses implantations régionales. Ainsi,

NOVEC , dont le siège social est à Rabat, est également présente

à l'échelle régionale à travers ses agences. Elle opère également à l'international, où elle est appelée à devenir l'un des bureaux de référence, notamment en Afrique et au Moyen-Orient.

A travers la création de **NOVEC**, CDG Développement ambitionne de doter le pays d'une ingénierie d'excellence, offrant des services de haut niveau dans les métiers en rapport avec le développement territorial durable, tant à l'intérieur du Royaume qu'à l'international.

Renseignements généraux

- _ Raison sociale : **NOVEC**
- _ Forme juridique : Société anonyme
- _ Capital : 25.700.000 DH



Organisation

Dans le but d'offrir les meilleurs services d'études ou d'assistance à ses clients, **NOVEC** dispose d'un personnel qualifié qui assure le fonctionnement de ses divers départements opérationnels et supports :

- _ **Direction Bâtiment**
- _ **Direction Eau, Aménagement et Environnement**
 - ® Département Eau potable & Assainissement
 - ® Département Aménagement Urbain
 - ® Département Ressources en Eau
 - ® Département Environnement
- _ **Direction Développement**
 - ® Département Agriculture & Développement rural

® Département Energie

® Département OPC

® Service Développement Durable

_ **Direction Infrastructure**

® Département Barrages

® Département Rails, Routes et Autoroutes

® Département Ouvrages d'art

® Département Géologie & Géotechnique

_ **Direction Financière & Juridique**

_ **Département Commercial et
Marketing**

_ **Département Ressources
Humaines**

_ **Département Support**

_ **Service Qualité** _ **Département technique et
Management du Savoir**

Domaines d'interventions

Barrages et ouvrages sous terrains

NOVEC peut jouer un rôle très important dans :

- Etudes préliminaires
- Etudes d'exécution
- Auscultation
- Expertise
- Assistance technique durant
l'exécution



Barrage Asfalou : Barrages Voûte d'une longueur de 150 m et une hauteur de 110 m

Barrage Hassan 1er : Plus haut barrage en remblai du continent africain avec 145 m

Barrage Al Wahda, le 2^{ème} d'Afrique après le grand barrage d'Assouan d'une hauteur de 88 m



Barrage Brissa au Liban - en Remblai de 45 m

Barrage Kompienga au Burkina Fasso - Remblai en terre à noyau central de 50 m de hauteur

Barrage Wala en Jordanie - BCR et Remblai de 52 m de hauteur

Bâtiment et génie civil

NOVEC assure durant la phase d'étude :

- Etudes techniques en tous corps d'état
- Etudes de faisabilité
- Expertise de bâtiments
- Etude de réhabilitation
- Assistance au maître d'ouvrage
- Suivi des travaux



Hydroélectricité et ressources en eau

Parmi les activités que ce département effectue on peut citer :

- Etude des ressources en eau superficielle : Plans Directeur, études de réévaluation, hydrologie des barrages et des bassins versants
- Etude des ressources en eau souterraine : Etudes hydrogéologique et de modélisation
- Planification et gestion des ressources en eau : Gestion des barrages via des modèles de prévision hydrologique dans le cadre des PDAIRE

-Modélisation hydraulique : Ondes de rupture de barrages, modèles hydraulique des oueds et zones d'épandage



Protection de la ville de Tétouan contre les crues de l'oued Martil



Dimensionnement des ouvrages



Modélisation des oueds à l'état naturel

Infrastructures urbaine

NOVEC

- Schéma directeurs d'assainissement,
- Voirie et réseaux divers,
- Evacuation des eaux pluviales et usées
- Dimensionnement des réseaux d'eaux pluviales et usées
- Assainissement des zones littorales,
- Epuration des eaux usées
- Etudes générales de développement touristique

Infrastructure des zones industrielles

- Assistance au maître d'ouvrage et suivi des travaux

Aménagement des zones touristiques

Zone touristique Mogador



Aménagement des zones industrielles

Zone franche d'exportation



Epuration des eaux usées

Bassin d'aération 5.520 m³
de la station d'épuration Al
Hoceima 80.000 eq/ht

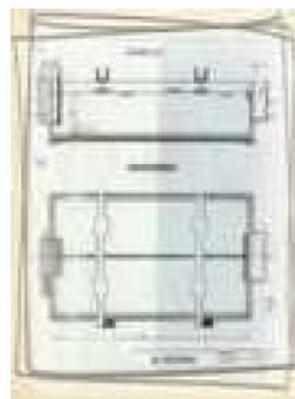


Schéma Directeur d'assainissement

Etude du schéma directeur
d'assainissement de la ville
d'Essaouira



GEOLOGIE & HYDROGEOLOGIE

- Barrages & Tunnels
- Routes & Autoroutes
- Zones touristiques
- Recherche des matériaux de construction
- Modélisation et synthèse hydrogéologiques
- Reconnaissances géologiques et géotechniques

GEOLOGIE & GEOTECHNIQUE



Matériaux de construction
- Agadir



Géologie du barrage
Wala en Jordanie



Géologie oued
Chbika - Tan-Tan



Super collecteur
Ouest de Casa



Port Tanger-Med



Barrage Tamalout

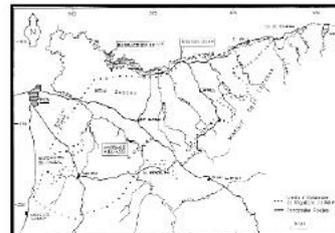
HYDROGEOLOGIE



Stade de Tanger

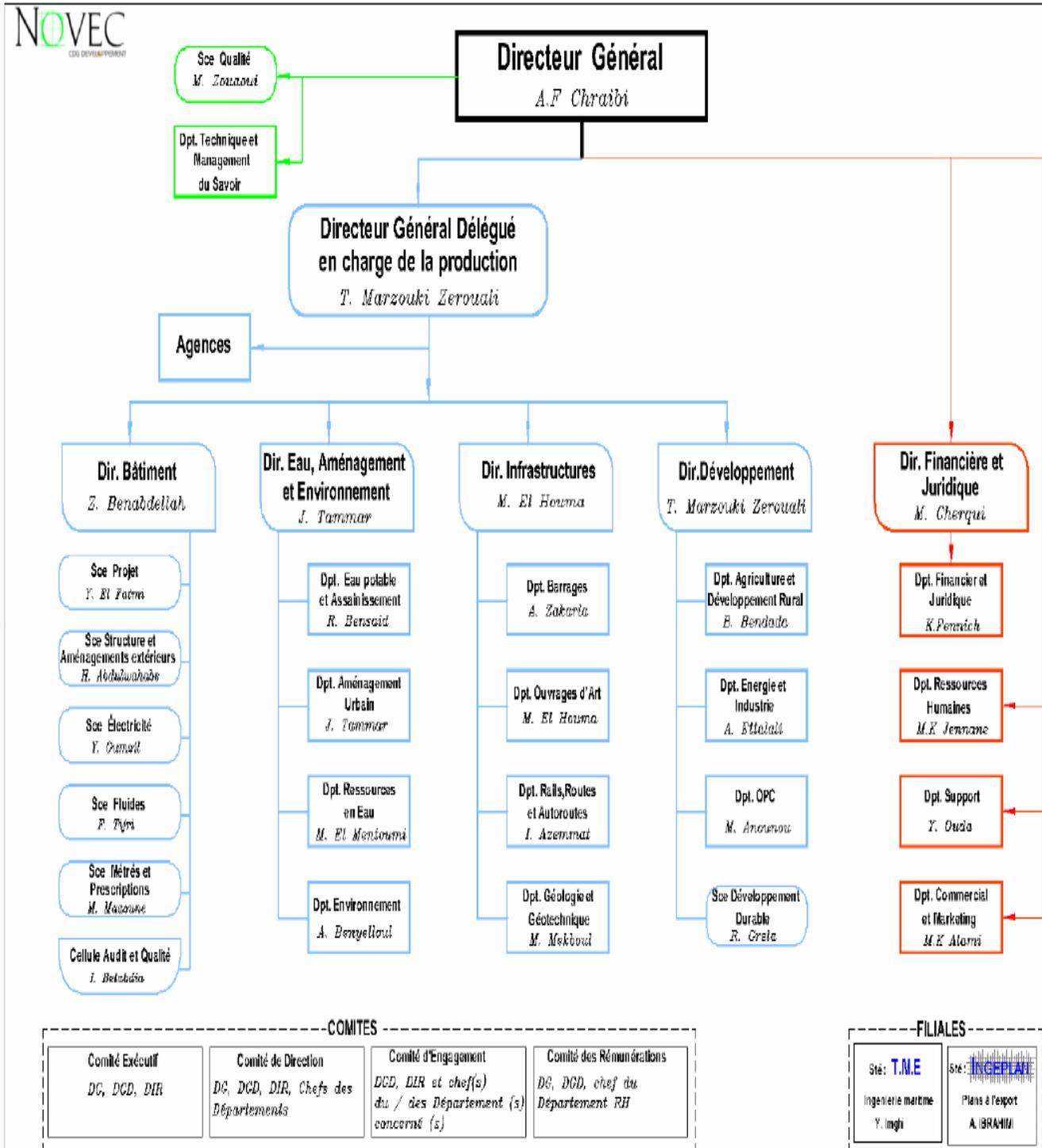


Sources de
Sidi Harazem



Couloir Fès-Taza

Organigramme de NOVEC



Edité le 25 avril 2011

Validé par A.F. CHRAÏBI

2- Introduction au sujet

Le présent rapport a pour objet la conception et le calcul de la structure des vannes segment.

Les barrages sont généralement équipés des vannes au niveau de l'évacuateur des crues, de la vidange de fond, des prises d'eau potable, des prises d'irrigation ou des prises des usines hydrauliques. Ces vannes servent à régler les débits lâchés par le barrage ou à obturer complètement ses pertuis. Elles jouent un rôle très important dans la sécurité des barrages et interviennent dans les saisons particulières ou les crues deviennent très importantes.

La vanne segment est l'une des vannes de réglage des débits de l'évacuateur de crue ou de la vidange de fond. Il s'agit en effet d'une structure métallique profilée maintenue par un puissant bras articulé généralement en aval.

La première partie de ce rapport présente les différentes équations permettant le dimensionnement de la structure de la vanne segment, allant du calcul de la force hydrostatique de l'eau appliquée sur la vanne, jusqu'au dimensionnement des différentes poutres qui forment la vanne segments.

La deuxième partie consiste à intégrer ces équations dans une feuille EXCEL et ainsi élaborer un fichier de calcul facilitant le dimensionnement de cette vanne. Ce fichier de calcul permettra par la suite de déduire le poids total de la vanne et d'avoir, par conséquent, une estimation plus précise de son coût global.

3: Généralités

i) Historique

Le premier barrage dans l'histoire a été conçu par Mènes en 2900 av. J.-C. il avait 15 m de haut et 450 m de long.

Depuis, la conception des barrages a connu un progrès très intense vu l'importance de ces structures dans différents secteurs d'activités.

ii) Les fonctions d'un barrage

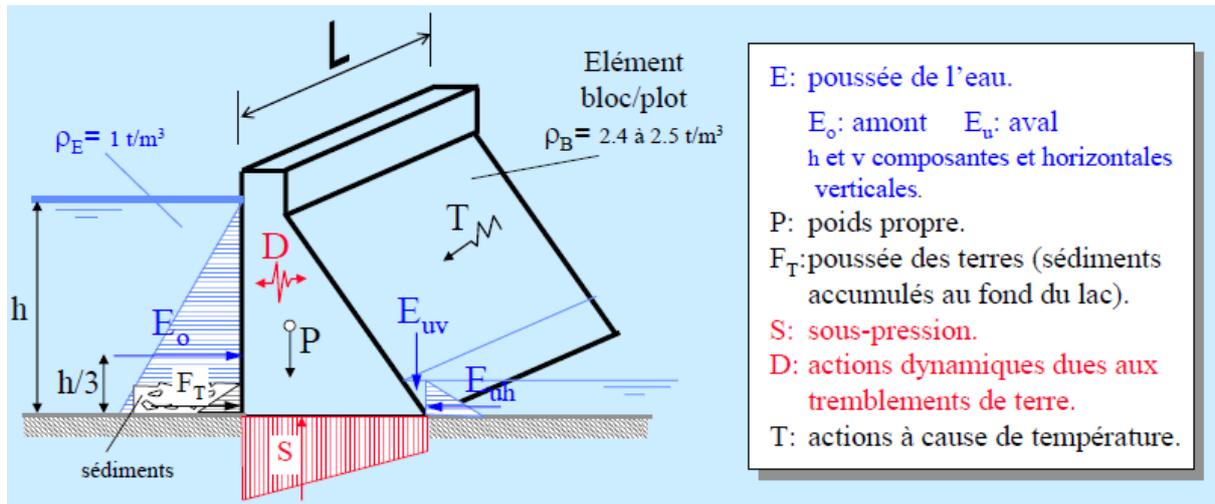
- ⇒ L'irrigation des cultures en particulier dans les régions arides ou semi arides.
- ⇒ L'alimentation en eau.
- ⇒ Production de l'énergie électrique.
- ⇒ Alimentation des industries en eau de refroidissement

iii) Les types de barrages

(1) Barrages poids



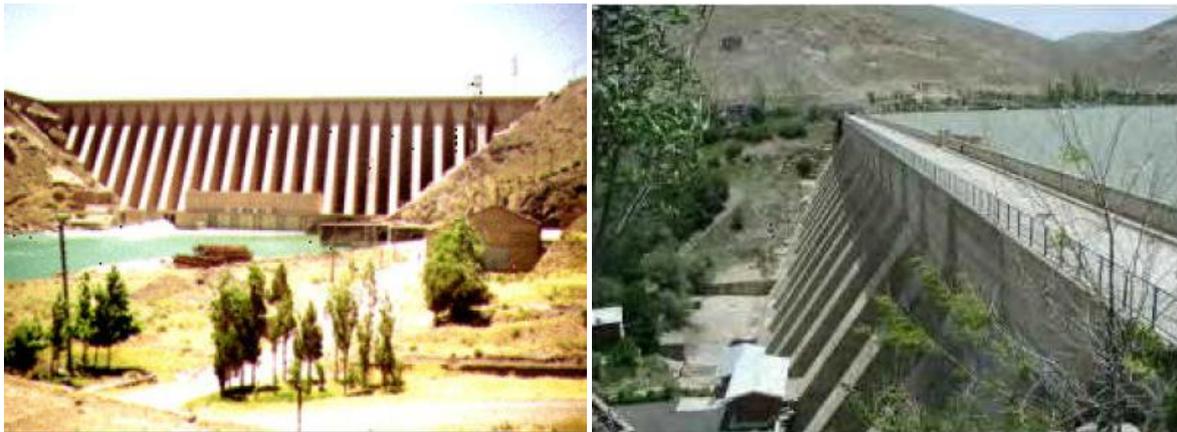
Ils ont une section triangulaire ou trapézoïdale. Leur poids propre suffit pour contenir et résister à la poussée de l'eau.



Le barrage subit plusieurs sollicitations du à l'eau, la température, les tremblements de terre, etc.

(2) Barrages à contreforts

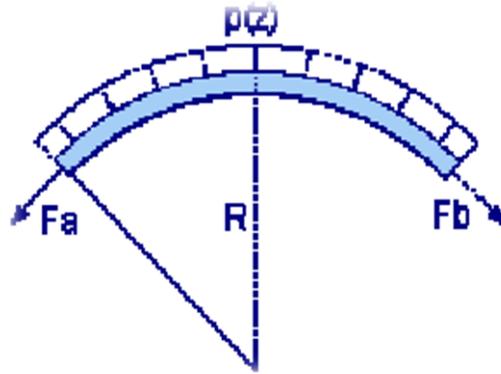
C'est le même principe des barrages poids mais ayant des évidements et s'appuyant sur des contreforts. Ceci permet d'optimiser le poids du barrage en ayant la même résistance vu que les contreforts transmettent les efforts appliqués sur le barrage à la base de ceci.



(3) Barrages voûte

C'est le type de barrage le plus intelligent de part de sa forme. Malgré qu'elles aient une épaisseur faible par rapport au barrage poids, leur géométrie

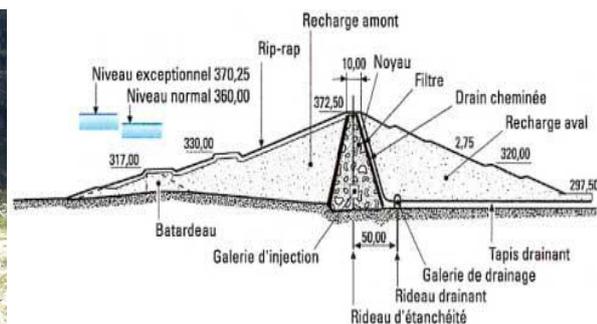
fait d'eux des barrages extrêmement sûr. Si la une courbure plan on ajoute une courbure verticale, on parle alors d'un barrage coupole.



Barrage voûte

(4) Barrages en terre

Les barrages en remblai de terre ont la grande qualité de s'accommoder de fondations meubles qui seraient incapables de supporter un ouvrage en béton ; cela permet d'équiper les sites dont le fond de vallée est garni, éventuellement sur de fortes épaisseurs (100 m ou plus), d'alluvions ou de roches décomposées, déformables et plus ou moins perméables.



Les cotes sont en mètres

iv) L'importance du drainage

L'eau possède la capacité de s'infiltrer à travers la plupart des structures. Ils existent deux manières complémentaires pour remédier à ce problème :

- Soit en diminuant la quantité d'eau à travers structures et fondations
- Soit par le drainage qui consiste à canaliser l'eau vers les parties où son effet serait moins nocif.

v) les évacuateur de crue

L'évacuateur de crues est un ouvrage hydraulique qui permet de relâcher à l'aval toute ou une partie de la crue survenant de l'amont, de telle sorte que le barrage ne soit pas surchargé et que sa sécurité ne soit pas mise en question pendant cette période.

Plusieurs technologies ont été conçues afin de répondre à cette fonction (l'évacuation de crues). Par exemple :

- Des déversoirs de sécurité sans aucun équipement
- Des vannes de surface le plus souvent du type secteur ou segment.
- Des clapets : vanne d'évacuation des crues pivotant autour d'un axe généralement fixé sur un seuil ou en tête d'une vanne segment.

Le choix du type de l'évacuateur dépend de la géométrie du barrage ainsi que certains paramètres liés au site géologique.



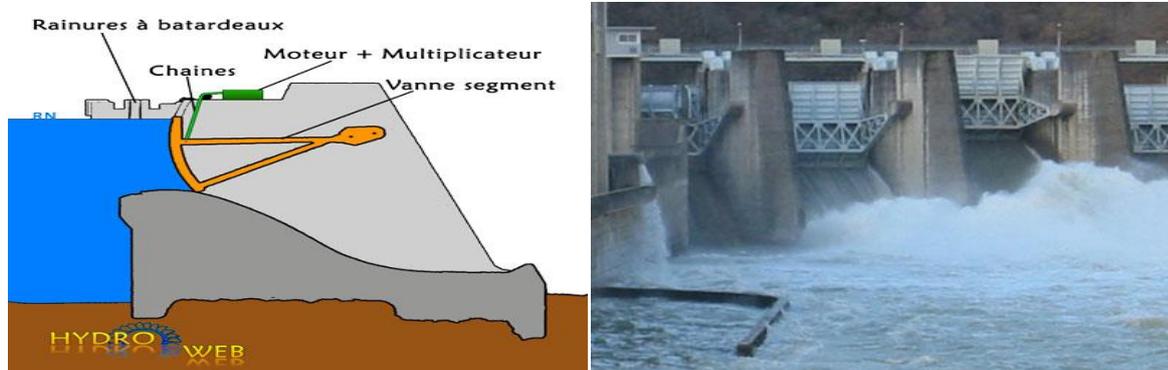
Vannes segment au barrage Allal Fassi

vi) la vidange de fond

En principe, cet organe permet de vidanger le réservoir, pour l'inspection, l'entretien ou en cas de danger sur le barrage. En premier lieu, il sert à contrôler la vitesse de remplissage du réservoir lors de la première mise en eau. La vidange de fond facilite également la gestion intelligente de l'eau retenue en permettant de laisser passer, après une forte crue, une part des sédiments apportés. Dans la pratique, il s'agit d'un ou plusieurs trous équipés de deux vannes en série, placés soit directement dans le barrage, soit dans une galerie spéciale creusée dans une rive. Une règle simple en vigueur en France stipule que la capacité de la vidange de fond doit être d'au moins $1 \text{ m}^3 / \text{s}$ par million de m^3 de réservoir : cela permet de vider le réservoir en une dizaine de jours, en période de faibles apports.



vii) les vannes segments



Vanne segment du barrage Truel

les vannes segment C'est une structure métallique animé par un vérin hydraulique tournant par rapport à un axe. C'est un ensemble d'éléments métallique liée entre eux qui permettent, lors de la période des crues, l'évacuation de l'excès d'eau afin d'assurer la protection du barrage contre la surcharge.

Ils sont utilisés dans le vidange de fond, afin de permettre l'entretien du barrage ou pour l'inspection dans le but de minimiser les dangers sur ce dernier. et ceci facilite également la gestion intelligente de l'eau retenue en permettant de laisser passer, après une forte crue, une part des sédiments apportés.

On les trouve parfois dans l'évacuation des crues on les installant directement dans le corps du barrage afin de laisser passer l'excès d'eau constituant un danger pour la structure !

4- Dimensionnement des vannes segments

i. Calcul de la force hydrostatique

Le schéma ci contre représente une vanne segment. elle est partiellement submergée pour le cas de l'évacuateur de crue, et totalement submergée pour le cas de la vidange de fond. Soit :

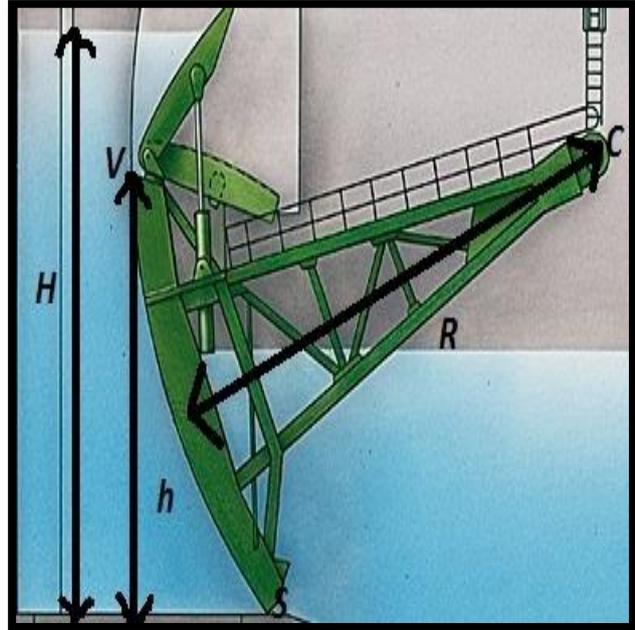
H : Hauteur de l'eau

L : longueur des pertuis

B : Envergure

R : Rayon de courbure de la vanne

$EL(s)$: hauteur déversoir



Paramètre géométriques :

$$Dm = EL(s) + H - EL(c)$$

$$Ds = EL(c) - EL(v)$$

$$Di = EL(c) - EL(s)$$

$$\alpha_i = \text{Arcsin}(Di/R)$$

$$\alpha_s = \text{Arcsin}(Ds/R)$$

Composante horizontale :

$$Wh = 9,81 * B * R * \left(H - \frac{h}{2} \right) \text{ (KN)}$$

Composante verticale :

$$Wv = 9,81 * B * R \left[Dm (\cos \alpha_s - \cos \alpha_i) + \frac{R}{2} (\alpha_i - \alpha_s) + \frac{R}{2} (\sin \alpha_s * \cos \alpha_s - \sin \alpha_i * \cos \alpha_i) \right] \text{ (KN)}$$

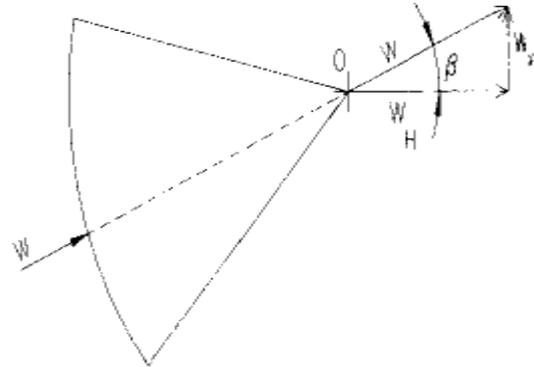
Force hydrostatique totale:

$$W = \sqrt{Wh^2 + Wv^2} \text{ (KN)}$$

L'angle de la ligne d'action :

Cet angle définit la ligne d'action de la force hydrostatique appliquée sur la vanne. Il est définie par :

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{W_v}{W_h}\right)$$



Exemple de calcul :

$H = 20\text{ m}$

$L = 15\text{ m}$

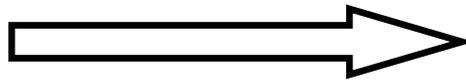
$B = 10\text{ m}$

$R = 12\text{ m}$

$EL(s) = 515\text{ m}$

$EL(v) = 520\text{ m}$

$EL(c) = 509\text{ m}$



$D_m = 26\text{ m}$

$D_s = -11\text{ m}$

$D_i = -6\text{ m}$

$\alpha_i = -0.52359877\text{ rad}$

$\alpha_s = -1.1596584\text{ rad}$

On obtient alors :

$W_h = 8583.75\text{ KN}$

$W_v = -9310.883\text{ KN}$

$W = \sqrt{8583.75^2 + (-9310.883)^2} = 12663.85\text{ KN}$

$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{-9310.883}{8583.75}\right) = -0.826009995\text{ rd}$

ii. Dimensionnement des barres horizontales

Cette partie est dédiée au dimensionnement des barres horizontales. Ces dernières doivent être conçues de telle façon à supporter l'effort appliqué par la poussée hydrostatique de l'eau.

La première étape consiste à estimer un nombre suffisant de ces barres. Il n'y a pas de démarche précise pour trouver ce nombre. Il est estimé en première étape, d'après l'expérience à travers les différents barrages du monde et au moyen d'une formule approchée. En suite, la vérification des barres horizontales confirme si ce nombre initialement choisi est insuffisant, dans ce cas, ce nombre devrait être obligatoirement augmenté, le cas échéant, on vérifie un nombre moins élevé afin d'optimiser le nombre des barres et ainsi réduire le poids de la vanne.

il s'agit en effet d'un exercice de plusieurs itérations avant de trouver le nombre optimal.

Quant à la vérification, Certains phénomènes doivent être pris en considération tel que le flambement de l'âme de la section en T de la barre horizontale.

La dernière étape consiste à dimensionner les barres. Pour ceci on doit :

- ⇒ Déterminer l'effort de l'eau appliqué sur la barre
- ⇒ Modéliser le problème afin de simplifier le calcul RDM
- ⇒ Déterminer les efforts internes (effort tranchant, moment fléchissant)

⇒ Calculer les contraintes internes de la structure et déterminer la contrainte équivalente par un critère *fiable* (TRESKA, VON MISES, ...)



Estimation du nombre de barre :

Le nombre de barres estimé est donné par la relation suivante :

$$N = \frac{100 * h}{t} * \sqrt{\frac{Hm}{2\sigma_{adm}}}$$

Tel que :

N : nombre de barres horizontales.

h: la hauteur de la vanne.

Hm : profondeur du centre de gravité de la plaque segment.

t : épaisseur de la plaque en mm

σ_{adm} : Contrainte normale admissible.

Exemple :

Une vanne submergée complètement dans l'eau. son seuil se trouve à 40 m de profondeur et ayant une hauteur de 5.3 metre, on souhaite calculer le nombre de barres sachant que la plaque segment a 16 mm d'épaisseur.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_m = 40 - (5.3/2) \\ t = 16 \text{ mm} \\ \sigma_{adm} = 168.64 \text{ MPa} \end{array} \right. \longrightarrow N = \frac{100 \cdot 5.3}{16} * \sqrt{\frac{40 - (5.3/2)}{2 \cdot 168.64}} = 11.02$$

On aurait besoin de 11 barres horizontales au moins. Il faut faire attention aux unités !

σ_{adm} dépend de la nature de la charge. (voir page 113, Design of hydraulic gates).

Type of Stress	Load Case		
	Normal	Occasional	Exceptional
Tension and bending stress	0.68	0.76	0.89
Bending stress if a stability proof is required	0.59	0.68	0.79
Shear	0.39	0.44	0.51
Combined stress	0.76	0.82	0.92
Combined stress in the skin plate	0.87	0.87	0.92

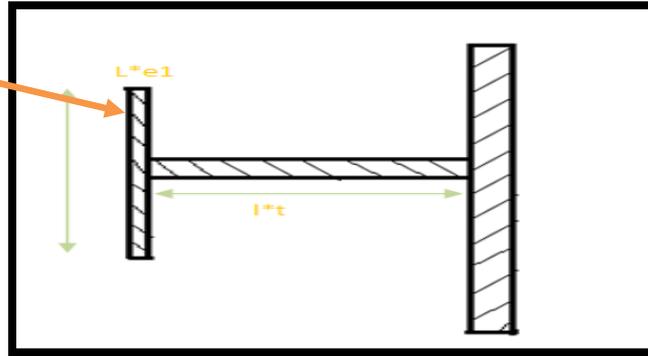
The allowable bearing pressure between pins and plates in structural elements can be determined by applying the following reduction coefficients to the yield strength:

- . normal load case, 0.8
- . occasional load case, 0.9
- . exceptional load case, 0.9

Vérification du flambement latéral de la semelle :

Vu la géométrie particulière de la vanne, les poutres en T, ou plus précisément leurs âmes, subissent un effort de compression très important, d'où le risque de flambement dû à la composante verticale de la force hydrostatique.

Semelle compressée



La semelle est considérée stable si :

$$i_y > \frac{C}{40}$$

Tel que :

i_y : rayon de giration formé par la semelle et le $1/5^{\text{ème}}$ de la section de l'âme.

C : dans notre cas on va prendre $c=2*L$ (poutre encastree libre).

Or, il existe une deuxième condition pour vérifier la stabilité. En effet ; il suffit que la contrainte de compression maximale appliquée ne dépasse pas $(1.4*\sigma_{adm})/w$

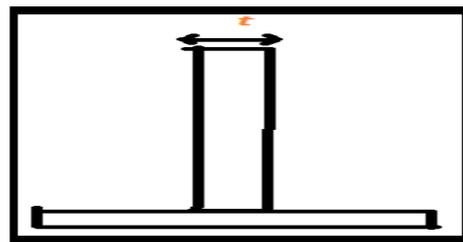
w étant le coefficient de flambement et σ_{adm} la contrainte de compression admissible.

Estimation de l'épaisseur de l'âme

En générale, l'épaisseur de l'âme doit être comprise entre 6.5 et 8 mm.

Toutefois, la formule suivante donne une estimation de sa valeur:

$$t = \frac{F}{2 * h * \sigma_c}$$



t : épaisseur de l'âme.

F : effort appliqué sur la barre.

h : profondeur de la barre.

σ_c : Contrainte de cisaillement admissible.

Dimensionnement des barres horizontales

→ Force linéique appliquée sur chaque barre

Chaque barre supporte une charge ($F=W/N$) tel que :

W : force hydrostatique

N : nombre de barres

La charge est uniformément répartie sur la barre de valeur F/L avec :

L : la longueur de la barre

→ Effort tranchant

Soit q la charge linéique répartie. L étant la longueur de la barre, l'équation de l'effort tranchant est donnée par :

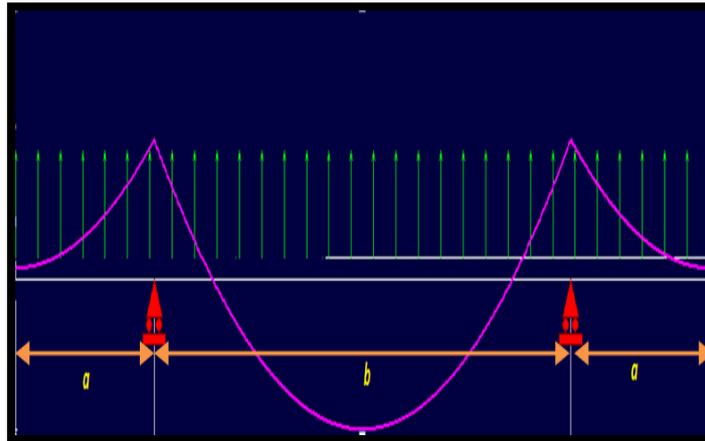
$$T(x) = -q * x + q * \frac{L}{2} \quad \text{dans le domaine } [a, a+b]$$

L'effort tranchant est maximal en $x=a$ et est égal à :

$$T_{max} = \frac{q * b}{2}$$

→ Moment fléchissant

Le moment fléchissant maximal se trouve soit au niveau des supports, soit au milieu de la barre. Par exemple, dans le cas où $a=0.225L$ le moment fléchissant est maximal aux supports. Plus la longueur a diminué, plus le comportement élastique de la poutre minimise le moment au support et devient de plus en plus grand au milieu.



Le moment fléchissant aux supports est égal à :

$$Mf1 = \frac{-q * a^2}{2}$$

Le moment fléchissant dans le domaine [a ; a+b]:

On a $T(x) = -q * x + q * \frac{L}{2}$

Donc $Mf2(x) = - \int T(x) = \frac{q}{2} * x^2 - q * \frac{L}{2} * (x - a)$

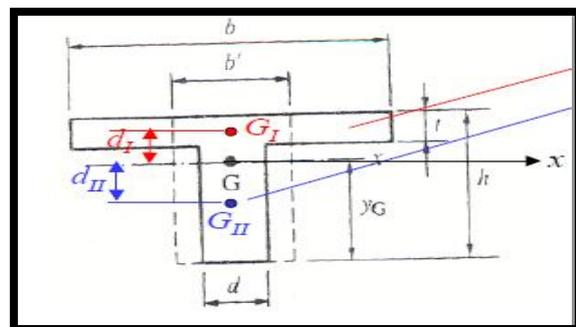
On trouve que

$$Mf2 = \frac{q}{8} (b^2 - 4a^2)$$

Ainsi, le moment fléchissant max serait le **MAX (Mf1, Mf2)**.

→ Caractéristique géométriques de la section minime

La barre horizontale a une section en T. Il est à vérifier que la section la plus défavorable, où les efforts sont maximaux, doit résister aux sollicitations de l'eau.



Le moment quadratique suivant l'axe des « x » est donné par :

$$I_x = \frac{b * t^3}{12} + AI * d1^2 + \frac{d * (h - t)^3}{12} + AI * d2^2$$

Le centroïde ou le centre de masse de la section est donné par :

$$YG = \frac{\left(h - \frac{t}{2}\right) AI + \frac{h - t}{2} * AII}{AI + AII}$$

AI : section de la section élémentaire de centre G1

AII : section de la section élémentaire de centre GII

→ **Contrainte de cisaillement max**

$$\tau_{max} = \frac{V * Q}{I_x * t}$$

Q : moment statique de la section supérieure.

I_x : moment d'inertie

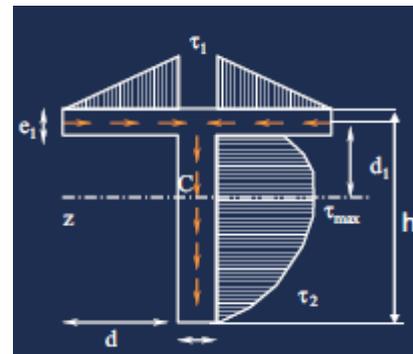
T : épaisseur de la section

V : effort tranchant dans la section

⇒ Calcul du moment statique de la section sup

Sur l'âme :

$$Q = (2d+e2)e1*d1+(0.50(d1-e1/2)^2*e2)$$



→ Contrainte normale max

Soit M_f le moment fléchissant maximal, I_x le moment quadratique et YG la position du centre de gravité de la section.

La contrainte normale est donnée par la relation :

$$\sigma = \frac{M_f * YG}{I_x}$$

→ Contrainte équivalente et vérification

La contrainte équivalente de VON-MISES dans un problème plan est donnée par :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Le coefficient de sécurité est défini par :

$$s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{eq}}$$

Selon la norme DIN Le coefficient de sécurité doit être égal au minimum à

1.25 (voir page 113)

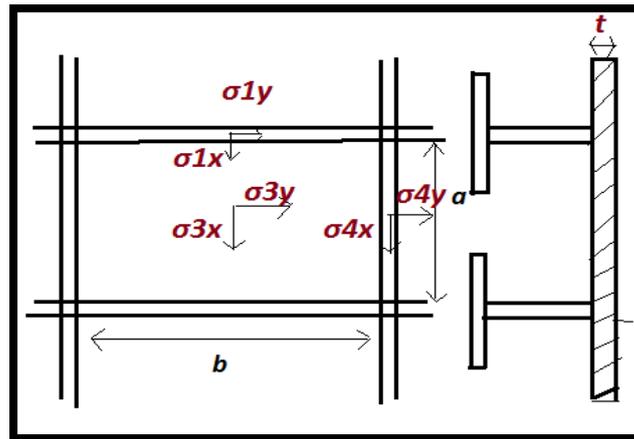
→ Matériaux utilisés

Pour ce type de structures, il existe une gamme d'aciers à utiliser, dont la limite élastique va de 207 MPa(A27) jusqu'à 585(A585) MPa.

Cette large gamme donne la possibilité de faire des choix judicieux dans le but de minimiser au maximum le coût des vannes segments en conservant la fiabilité de la structure.

iii. Dimensionnement des raidisseurs

les raidisseurs sont les parties limitées par les barres verticales et celle horizontales. Elles doivent être dimensionnées de telle façon à supporter l'effort de compression de l'eau.



Les contraintes normales sont calculées par la théorie des plaques basée sur la théorie de l'élasticité. Elles sont données par la relation

$$\sigma = \pm \frac{k * p * a^2}{100 * t^2}$$

k: coefficient qui dépend du rationnel b/a

p : pression de l'eau appliquée par l'eau sur le raidisseur.

t: épaisseur de la plaque segment.

σ_{1x} , σ_{1y} , σ_{4y} et σ_{3x} sont calculées par la formule ci-dessus. et $\sigma_{4x} = \pm 0.3 \sigma_{4y}$,

$\sigma_{3y} = \pm 0.3 \sigma_{3x}$

Table 5.3 k-Coefficient (NBR-8883)

b/a	Unfixed mounting of the 4 edges		Rigid fixing of the 4 edges				Rigid fixing of 3 edges and unfixed mount of the fourth edge							
	(a)		(b)				(c)				(d)			
	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{2x}$	$\pm\sigma_{2y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{3y}$	$\pm\sigma_{4x}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{5x}$	$\pm\sigma_{5y}$	$\pm\sigma_{6x}$	$\pm\sigma_{6y}$	$\pm\sigma_{7x}$	$\pm\sigma_{7y}$
∞	75.0	22.5	25.0	7.5	34.2	50.0	37.5	11.3	47.2	75.0	25.0	7.5	34.2	50.0
3.00	71.3	24.4	25.0	7.5	34.3	50.0	37.4	12.0	47.1	74.0	25.0	7.6	34.2	50.0
2.50	67.7	25.8	25.0	8.0	34.3	50.0	36.6	13.3	47.0	73.2	25.0	8.0	34.2	50.0
2.00	61.0	27.8	24.7	9.5	34.3	49.9	33.8	15.5	47.0	68.3	25.0	9.0	34.2	50.0
1.75	55.8	28.9	23.9	10.8	34.3	48.4	30.8	16.5	46.5	63.2	24.6	10.1	34.1	48.9
1.50	48.7	29.9	22.1	12.2	34.3	45.5	27.1	18.1	45.5	56.5	23.2	11.4	34.1	47.3
1.25	39.6	30.1	18.8	13.5	33.9	40.3	21.4	18.4	42.5	47.2	20.8	12.9	34.1	44.8
1.00	28.7	28.7	13.7	13.7	30.9	30.9	14.4	16.6	36.0	32.8	16.6	14.2	32.8	36.0

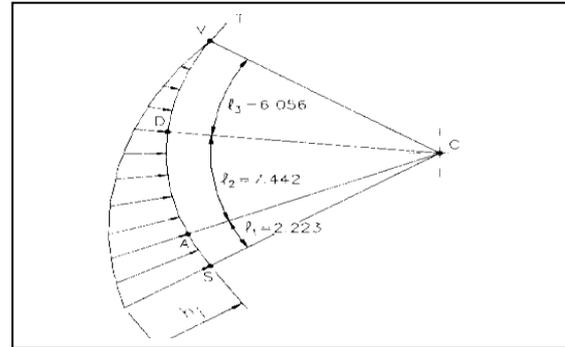
Ces contraintes ne doivent pas dépasser la contrainte de compression max.

iv. Dimensionnement des barres verticales

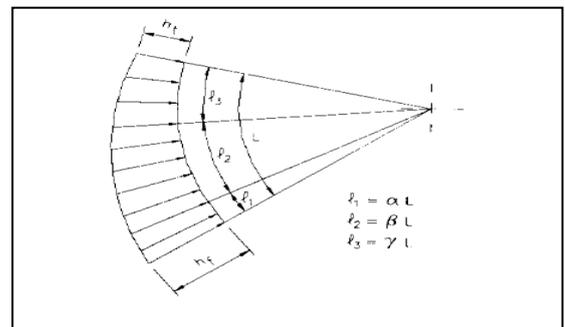
Dans ce paragraphe, nous allons aborder le dimensionnement des barres verticales.



La force appliquée par l'eau peut être répartie soit d'une façon triangulaire soit trapézoïdale et ceci en fonction de la fonction de la vanne :



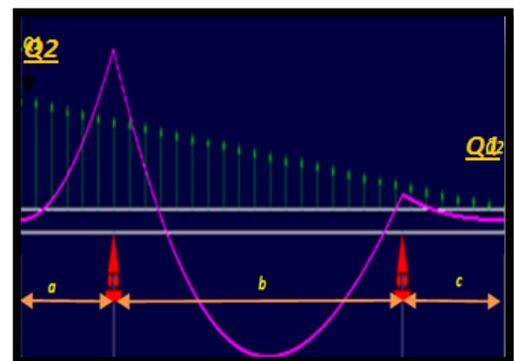
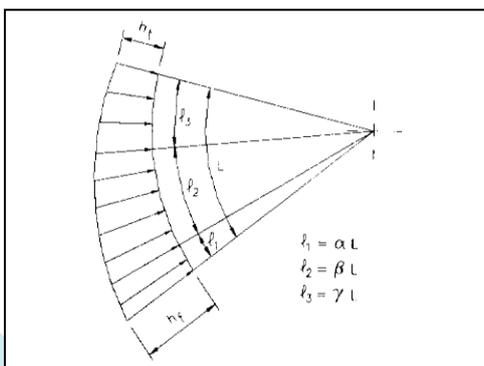
Cas 1 : Vanne de déversoir / Vanne de l'évacuateur de crue



Cas 2 : Vanne totalement submergée / Vanne de la vidange de fond

Afin de simplifier les calculs, les barres verticales seront considérées comme des poutres droites ayant une longueur égale à la longueur développée de l'arc. Elles sont sollicitées soit avec une force linéaire répartie d'une façon triangulaire, soit d'une façon trapézoïdale.

Nous allons expliciter le calcul de la deuxième répartition, qui présente le cas général. La première n'est qu'un cas spécial de la deuxième, où la charge linéique supérieure (en tête de la vanne) est nulle.



Calcul des réactions au niveau des supports

Q2 et Q1, les valeurs de la charge linéique à chaque extrémité (respectivement bas et haut) sont supposées connues.

On décompose la charge trapézoïdale en une charge linéique uniformément répartie et une charge triangulaire. Les réactions aux niveaux des appuis sont :

$$R_a = F_r + q_1 * L - R_b$$

$$R_b = 1/b [F_r(1/3 - a) + q_1 * L(1/2 - a)] \quad F_r = (q_2 - q_1) * L/2$$

Calcul des efforts internes

On a:
$$q(x) = \frac{Q_2 - Q_1}{-L} x + Q_2$$

→ Effort tranchant

L'effort tranchant est donnée par :

$$T(x) = - \int \frac{Q_2 - Q_1}{-L} x + Q_2$$

$$T(x) = \frac{Q_2 - Q_1}{2L} x^2 - Q_2 * x \quad \text{dans } [0, a.L]$$

$$T(x) = \frac{Q_2 - Q_1}{2L} x^2 - Q_2 * x + R_a \quad \text{dans } [a.L, (a+b).L]$$

L'effort tranchant maximal est :

$$T_{max} = T(a.L)$$

→ Moment fléchissant

$$M_f(x) = - \int T(x) = - \frac{Q_2 - Q_1}{6L} * x^3 + \frac{Q_2}{2} * x^2 - R_a * (x - a.L)$$

On a $M_f = M_{fmax} \rightarrow T(x) = \frac{Q_2 - Q_1}{2L} x^2 - Q_2 * x + R_a = 0$

On trouve $X_0 = \frac{Q_2 - \sqrt{Q_2^2 - 4ac}}{2a}$

Avec $a = \frac{Q_2 - Q_1}{2L}$ et $c = R_a$

Donc $M_{fmax} = M_f(X_0)$

→ Contraintes de cisaillement max

$$\tau_{max} = \frac{V * Q}{I_x * t}$$

Q : moment statique de la section supérieure.

I_x : moment d'inertie.

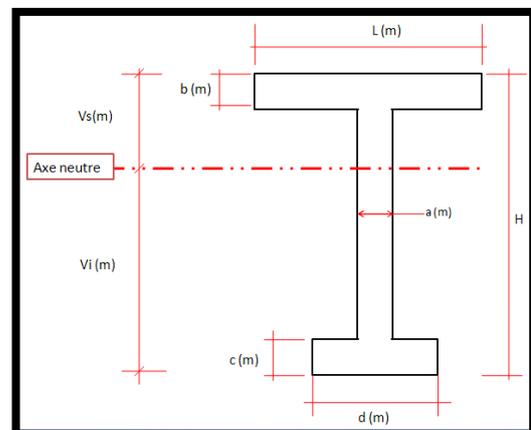
t : épaisseur de la section.

V : effort tranchant dans la section.

⇒ Moment statique max de la section sup

$$Q(y) = (L * b) \left(V_s - \frac{b}{2} \right) + \left[\frac{(V_s - b + y)}{2} * (V_s - b - y) * a \right]$$

$$Q = (L * b) \left(V_s - \frac{b}{2} \right) + a * \frac{(V_s - b)^2}{2}$$



→ Contraintes équivalente de V-MISES

La contrainte équivalente de VON-MISES dans un problème plan est donnée par :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Le coefficient de sécurité est défini par :

$$s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{eq}}$$

Ce coefficient doit être supérieur ou égale à 1.25

v. Dimensionnement des bras

Ce paragraphe a pour but de détailler le dimensionnement des bras ; éléments au moyen desquels la rotation de la vanne est assurée, ils sont fixés d'une extrémité sur le corps de la vanne, l'autre extrémité est attachée à un palier dont la partie fixe est ancrée dans le béton.

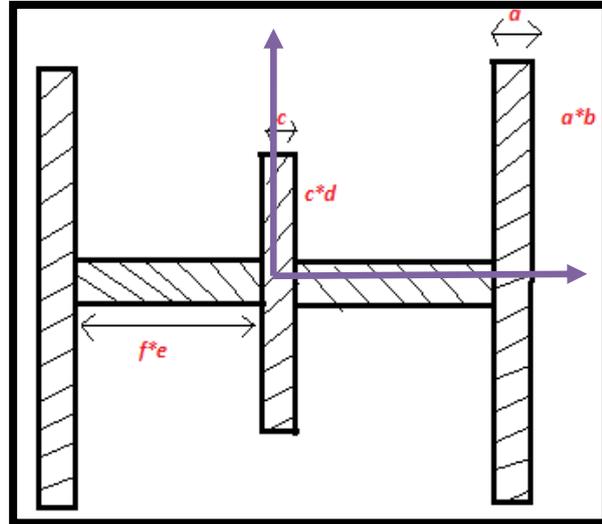


Les étapes de dimensionnement sont les mêmes que précédemment :

→ Caractéristiques géométriques de la section

Le moment quadratique par rapport à l'axe de la flexion est :

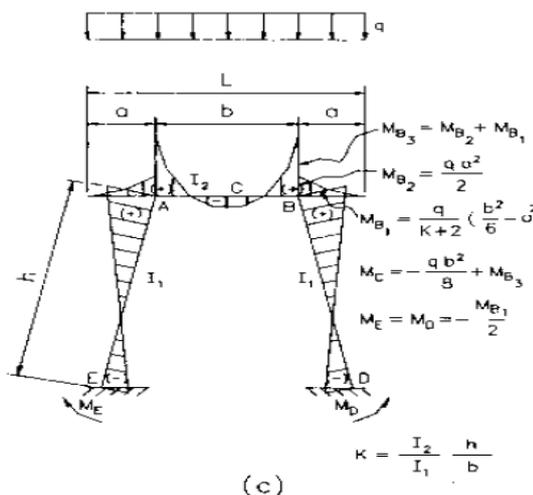
$$I_x = c * \frac{d^3}{12} + \frac{f * e^3 + a * b^3}{6}$$



→ Les efforts internes

Les bras subissent l'effort de compression appliqué par la poussée de l'eau et le moment transmis par les barres horizontales.

En pratique, on utilise des bras inclinés qui pivotent autour d'un axe passant par le centre de courbure de la vanne segment. Cette liaison est en générale réalisée moyennant une bague cylindrique (palier). Ainsi, la distribution du moment le long de chacun des bras seraient comme le montre le schéma ci-dessous.



Le moment fléchissant est maximal en B et égal à $M_{B1} + M_{B2}$ avec :

$$M_{B1} = \frac{q}{(K+2)} * \left(\frac{b^2}{6} - a^2 \right)$$

$$M_{B2} = \frac{q a^2}{2}$$

$$K = I_2 * \frac{h}{I_1 * b}$$

→ Contrainte interne et vérification

Les bras subissent une contrainte normale dont l'origine est l'effort de compression à la poussée de l'eau et le moment transmis par les autres barres. Selon la norme DIN4114, la stabilité des bras est assurée si la condition suivante est vérifiée :

$$w * \frac{F}{A} + \frac{0.9M}{W} < \sigma_{adm}$$

Tel que :

w : coefficient de flambement

W : module de la section.

M : moment fléchissant

A : air de la section minime.

F : effort de compression

σ_{adm} : contrainte normal admissible.

vi. Estimation du poids totale de la vanne

Cette partie vient pour conclure le dimensionnement des vannes segment. En effet, l'estimation du poids de la vanne permet d'avoir une idée sur le cout de ces structures et voir la possibilité d'optimiser ce dernier on jouant sur plusieurs paramètres inclus dans le calcul de ces structures.

5-Elaboration de la feuille de calcul EXCEL

Ce paragraphe a pour objet d'introduire et de regrouper l'ensemble des équations de dimensionnement et de vérification, données ci-dessus, dans un seul outil informatique.

Les classeurs Excel sont un outil très performant, riche en terme de formules, et communément utilisé dans NOVEC. C'est pour ces raisons qu'Excel a été l'outil choisi pour ce travail.

L'élaboration d'un tel outil permettra par la suite, dans des prochaines études de barrages, à réaliser chez NOVEC, de faciliter les démarches de la conception, d'estimer le poids de la vanne et ainsi d'avoir un ordre de grandeur de son coût. Cette feuille contient plusieurs blocs. Chaque bloc traite un détail de dimensionnement de la vanne. Nous avons opté pour la distribution suivante :

- 1- Paramètres géométrique et caractéristique du matériau
- 2- Calcul de la force hydrostatique.
- 3- Dimensionnement des barres horizontales.
- 4- Dimensionnement des raidisseurs.
- 5- Dimensionnement des barres verticales.
- 6- Dimensionnement des bras.
- 7- Estimation du poids de la vanne.

Les étapes les plus importantes de dimensionnement sont détaillées par la suite en titre d'exemple. Les autres détails sont donnés en annexe.

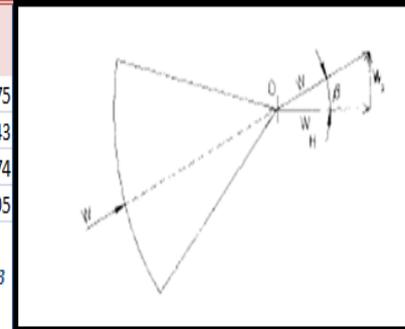
i Calcul de la force hydrostatique

Ce bloc permet de calculer la valeur de la force hydrostatique, à partir des données entrées par l'utilisateur.

Valeur de la force hydrostatique

Calcul de la force hydrostatique

Paramètres		Wh, Wv et W	
Dm	26	Composante horizontale (KN)	8583,75
Ds	-11	Composante verticale (KN)	-9310,883643
Di	-6	Force hydrostatique totale (KN)	12663,85874
α_s	-1,159658464	β	-0,826009995
α_i	-0,523598776	cet angle définit la ligne d'action de la poussée W voir page 103	
a	4,216344896		
b	-12,1256922		



Remarque

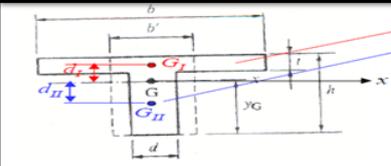
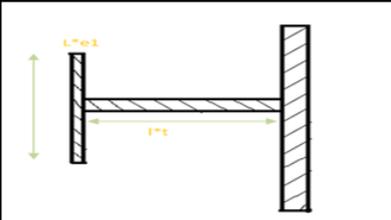
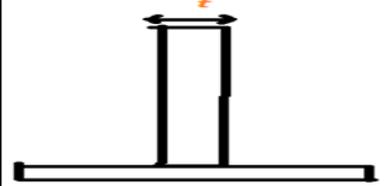
Pour distinguer entre les données à faire entrer par l'utilisateur et les valeurs « résultats », les cellules d'entrées sont en couleur orange.

ii Dimensionnement des barres horizontales

Cette partie de la feuille traite le dimensionnement des barres horizontales. On y trouve la vérification du flambement transversal de la section en T, la détermination du nombre des barres horizontales, le calcul des efforts internes et finalement le calcul des contraintes et la vérification de la tenue des barres.

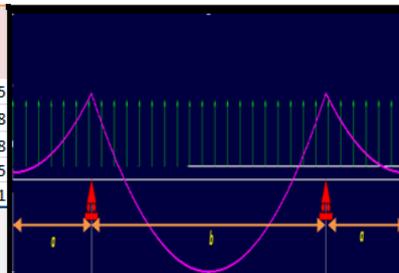
Dimensionnement des barres horizontales

Estimation du nombre de barres		Estimation de l'épaisseur de l'âme	
t (mm) : épaisseur de la plaque	22	Hb (m) : profondeur des barres à la fin de la vanne	6
Hm (m) profondeur du C gravité de la vanne	18	Cont.cisaillement admissible (MPa)	115,375
K coefficient de service	0,68	Force hydrostatique appliquée sur la barre	12663858,74
A	0,338696681	t (mm)	5,945473589
B	7,697651849	voir page 122 (5.4.2.1)	
N (voir page 120 5.4.1)	8		
Caractéristiques géométrique de la section en T		Vérification du flambement de la semelle	
t (mm)	20	e (mm)	5,945473589
b (mm)	500	L (mm)	120
d (mm)	60	l (mm)	150
h (mm)	650	e1 (mm)	6
A1 (mm ²)	10000	A mm ² (semelle+1/5 âme)	898,3642077
A2(mm ²)	37800	Moment quadratique (mm ⁴)	864525,4113
YG1	640	Rayon de gyration	31,02149054
YG2	315	la structure est stable	
YG(mm)	382,9916318		
dI (mm)	257,0083682		
dII (mm)	-67,9916318		
Moment quadratique (mm ⁴)	2085845530	voir page 122 (5.4.3.1) (flambement latéral)	
moment statique de la semelle	1207939,331		
moment statique de l'âme	4400477,701		



Vérification de la tenue de la barre

Calcul des efforts internes		Calcul des contraintes et vérification	
la côte a (m)	0,5	contrainte de cisaillement max ds la semelle	0,763937455
la côte b (m)	4	contrainte de cisaillement max ds l'âme	7,421321368
la force linéique (N/m)	844257,2496	contrainte cisail.max	7,421321368
Effort tranchant (N)	1688514,499	contrainte normale max	290,6586235
Moment fléchissant (N.m)	1582982,343	contrainte équivalente	290,9427151
la barre horizontale résiste aux sollicitation			
Voir page 134			

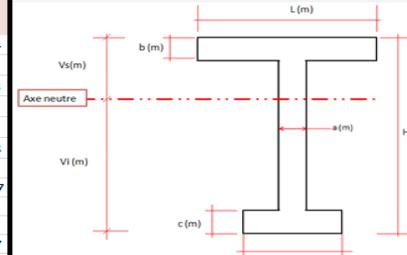
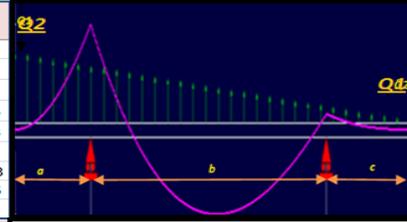


iii Dimensionnement des barres verticales.

Le dimensionnement des barres verticales est similaire à celui en des barres horizontales. Le calcul des caractéristiques géométriques de la section en I s'effectue en établissant une connexion avec une autre feuille (dans le même classeur) qui calcule tous les paramètres géométriques de la section en I.

N.B. :Il faut prendre en compte le coefficient de sécurité 1.25 pour toute vérification.

Dimensionnement des barres verticales			
Calcul des réactions au niveau des appuis		Calcul des efforts internes	
a	0,2	f	17,5
b	0,5	g	-120
Q1 (N/m)	50	h	-79,6427211
Q2 (N/m)	120	Tmax (N)	46,13333333
L (m)	2	c	36,53333333
F	70	d	60
Rb	78,66666667	e	-5,833333333
Ra	91,33333333	Xmax (du moment)	0,872000596
Xmax	0,4	Mfmax (MPa)	-1,35411328
Paramètres géométriques de la section résistante		Calcul des contraintes max	
H(mm)	56	Moment statique max (mm ⁴)	50666,38724
L (mm)	70	Epaisseur (mm)	6
a (mm)	6	Tmax N	46,13333333
b (mm)	40	Contrainte de cisaillement max (MPa)	0,04218561
c (mm)	90	Moment fléchissant max N.m	-1,35411328
d (mm)	20	Moment d'inertie	1385193,518
Moment quadratique (mm ⁴)	1385193,518	V(distance max en mm)	38,082
Moment statique totale (mm ³)	74468	Contrainte normale (Mpa)	-37,22753627
Aire de la section	4156	Contrainte de cisaillement adm	115,375
Vs (mm)	17,918	contrainte normale adm (MPa)	177,5
Vi (mm)	38,082	Contrainte de VON-MISES (MPa)	177,5154947



Dimensionnement des barres verticales

Le même modèle a été suivi pour l'élaboration du reste de la feuille EXCEL (raideurs, bras,...).

Les autres parties sont données en annexe.

conclusion

La feuille EXCEL élaborée devrait aider à analyser le cout de la vanne à travers l'estimation du poids totale de cette structure. Puis ce poids pourrait être optimisé en trouvant les paramètres permettant de minimiser le poids de la vanne tout en respectant les critères de résistance (le choix de matériaux, les paramètres de la section,...)

ANNEXE 1

The formulae presented below are generic and can be indistinctly used for weir and submerged segment gates, sector gates and flap gates with radial skin plate.

The horizontal component of the water thrust is:

$$W = \gamma B h (H - h/2) \quad (4.15)$$

The vertical component is:

$$W_v = \gamma BR [D_m (\cos \alpha_s - \cos \alpha_i) + R(\alpha_s - \alpha_i)/2 + R(\sin \alpha_s \cos \alpha_s - \sin \alpha_i \cos \alpha_i)/2] \quad (4.16)$$

where

γ = specific weight of water = 9.81 kN/m³

B = side seal span

R = skin plate radius (measured on the wet surface)

H = maximum headwater on sill

h = gate sealing height

D_m = difference between the elevations of the water level and the center of curvature of the skin plate

$$\alpha_s = \arcsin D_s/R \quad (4.17)$$

$$\alpha_i = \arcsin D_i/R \quad (4.18)$$

D_s = difference between the elevations of the center of curvature of the skin plate and the top seal (for submerged gates) or the water level (in case of weir gates)

D_i = difference between the elevations of the center of curvature of the skin plate and the sill.

NOTES:

- D_m , D_s and D_i refer to difference of elevations and may assume positive or negative sign, depending on the gate arrangement;
- The angles α_s and α_i are taken in radians and can also assume a positive or negative sign;
- The direction of the vertical component is given by its sign:
 - positive: upward
 - negative: downward.

The magnitude and direction of the resultant water thrust are calculated by:

$$W = \sqrt{W_h^2 + W_v^2} \quad (4.19)$$

$$\beta = \arcsin W_v / W \quad (4.20)$$

ANNEXE 2

5.2 ALLOWABLE STRESSES

The allowable stresses are determined according to the yield strength of the material and should take into account the load case.

For structural elements, the allowable stresses correspond to the yield strength multiplied by the coefficients of Table 5.1.

Table 5.1 Coefficients for Allowable Stresses, Structural Elements

Type of Stress	Load Case		
	Normal	Occasional	Exceptional
Tension and bending stress	0.68	0.76	0.89
Bending stress if a stability proof is required	0.59	0.68	0.79
Shear	0.39	0.44	0.51
Combined stress	0.76	0.82	0.92
Combined stress in the skin plate	0.87	0.87	0.92

The allowable bearing pressure between pins and plates in structural elements can be determined by applying the following reduction coefficients to the yield strength:

- . normal load case, 0.8
- . occasional load case, 0.9
- . exceptional load case, 0.9

For bi-axial stress conditions, the comparison stress is given by the formula:

$$\sigma^* = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (5.1)$$

where:

σ_x = sum of stresses along x-axis

σ_y = sum of stresses along y-axis

τ_{xy} = shear stress in the plane normal to x-axis or y-axis.

Les différentes contraintes à utiliser dans le dimensionnement

ANNEXE 3

5.3 SKIN PLATE

5.3.1 THICKNESS

The skin plate comprises the greatest part of the gate weight. Therefore, the designer should pay particular attention to its dimensioning in order to achieve the smallest possible thickness consistent with the required structural strength. Generally, the smallest thickness used in skin plates is 8 mm, which permits welding of the reinforcing elements without significant plate warping. For small weir gates receiving good maintenance services, 6.5 mm thick plates may be used, provided precautions against distortion are taken during welding. On the other hand, thick plates up to 40 mm are used in high-head gates, as in the case of the fixed-wheel gates used for closure of the Itaipu diversion sluices, with 6.5 m span, 22 m high, subjected to a water head of 140 m on the sill. The plate thickness is determined through comparative studies of cost between the various spacing alternatives of stiffeners and beams welded therein.

5.3.2 PLATE STRESSES

According to the NBR-8883 standard, the plate bending stresses from water pressure are calculated with the theory of plates based on the theory of the elasticity, through the formula

$$\sigma = \pm \frac{k}{100} p \frac{a^2}{t^2} \quad (5.3)$$

where:

k = non-dimensional factor obtainable from Table 5.3, in function of the ratio b/a (support length of the modules formed by the beams and/or stiffeners) and the support conditions of the module

p = water pressure relative to the module center

a = minor support length

t = plate thickness.

La contrainte dans les plaques

ANNEXE 4

Table 5.6 Buckling Coefficients for St 37 Steels (Yield strength $f_y = 235.4$ MPa) – DIN 4114

ω	$\omega +$										ω
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	20
30	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13	1.13	30
40	1.14	1.14	1.15	1.16	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20	40
50	1.21	1.22	1.23	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	50
60	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.39	1.40	60
70	1.41	1.42	1.44	1.45	1.46	1.48	1.49	1.50	1.52	1.53	70
80	1.55	1.56	1.58	1.59	1.61	1.62	1.64	1.66	1.68	1.69	80
90	1.71	1.73	1.74	1.76	1.78	1.80	1.82	1.84	1.86	1.88	90
100	1.90	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.05	2.07	2.09	100
110	2.11	2.14	2.16	2.18	2.21	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39	110
120	2.43	2.47	2.51	2.55	2.60	2.64	2.68	2.72	2.77	2.81	120
130	2.85	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.17	3.22	3.26	130
140	3.31	3.36	3.41	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	140
150	3.80	3.85	3.90	3.95	4.00	4.06	4.11	4.16	4.22	4.27	150
160	4.32	4.38	4.43	4.49	4.54	4.60	4.65	4.71	4.77	4.82	160
170	4.88	4.94	5.00	5.05	5.11	5.17	5.23	5.29	5.35	5.41	170
180	5.47	5.53	5.59	5.66	5.72	5.78	5.84	5.91	5.97	6.03	180
190	6.10	6.16	6.23	6.29	6.36	6.42	6.49	6.55	6.62	6.69	190
200	6.75	6.82	6.89	6.96	7.03	7.10	7.17	7.24	7.31	7.38	200
210	7.45	7.52	7.59	7.66	7.73	7.81	7.88	7.95	8.03	8.10	210
220	8.17	8.25	8.32	8.40	8.47	8.55	8.63	8.70	8.78	8.86	220
230	8.93	9.01	9.09	9.17	9.25	9.33	9.41	9.49	9.57	9.65	230
240	9.73	9.81	9.89	9.97	10.05	10.14	10.22	10.30	10.39	10.47	240
250	10.55										250

Table 5.7 Buckling Coefficients for St 52-3 Steels (Yield strength $f_y = 353.2$ MPa) – DIN 4114

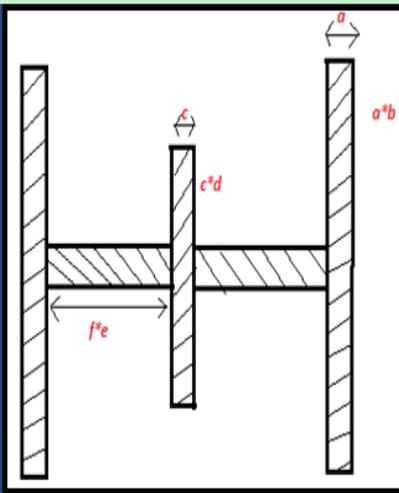
ω	$\omega +$										ω
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.11	20
30	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.18	30
40	1.19	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	40
50	1.28	1.30	1.31	1.32	1.33	1.35	1.36	1.37	1.39	1.40	50
60	1.41	1.43	1.44	1.46	1.48	1.49	1.51	1.53	1.54	1.56	60
70	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.72	1.74	1.77	70
80	1.79	1.81	1.83	1.86	1.88	1.91	1.93	1.95	1.98	2.01	80
90	2.05	2.10	2.14	2.19	2.24	2.29	2.33	2.38	2.43	2.48	90
100	2.53	2.58	2.64	2.69	2.74	2.79	2.85	2.90	2.95	3.01	100
110	3.06	3.12	3.18	3.23	3.29	3.35	3.41	3.47	3.53	3.59	110
120	3.65	3.71	3.77	3.83	3.89	3.96	4.02	4.09	4.15	4.22	120
130	4.28	4.35	4.41	4.48	4.55	4.62	4.69	4.75	4.82	4.89	130
140	4.96	5.04	5.11	5.18	5.25	5.33	5.40	5.47	5.55	5.62	140
150	5.70	5.78	5.85	5.93	6.01	6.09	6.16	6.24	6.32	6.40	150
160	6.48	6.57	6.65	6.73	6.81	6.90	6.98	7.06	7.15	7.23	160
170	7.32	7.41	7.49	7.58	7.67	7.76	7.85	7.94	8.03	8.12	170
180	8.21	8.30	8.39	8.48	8.58	8.67	8.76	8.86	8.95	9.05	180
190	9.14	9.24	9.34	9.44	9.53	9.63	9.73	9.83	9.93	10.03	190
200	10.13	10.23	10.34	10.44	10.54	10.65	10.75	10.85	10.96	11.06	200
210	11.77	11.28	11.38	11.49	11.60	11.71	11.82	11.93	12.04	12.15	210
220	12.26	12.37	12.48	12.60	12.71	12.82	12.94	13.05	13.17	13.28	220
230	13.40	13.52	13.63	13.75	13.87	13.99	14.11	14.23	14.35	14.47	230
240	14.59	14.71	14.83	14.96	15.08	15.20	15.33	15.45	15.58	15.71	240
250	15.83										250

Coefficient de flambement

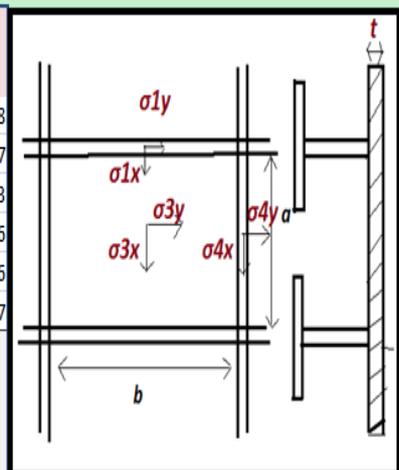
ANNEXE 5

Dimensionnement des bras	
Calcul de la contrainte de compression	
F (N) :effort appliqué sur un bras	6331929,372
coefficient de flambement w	1,1
a (mm)	20
b (mm)	350
c (mm)	50
d (mm)	250
e (mm)	24
f (mm)	400
section résistante (mm ²)	45700
contrainte de compression (MPa)	152,4096785
contrainte normale adm (MPa)	177,5
vérification!	le bras résiste

Voir page 147 (la cas c) figure 5.30



Dimensionnement des raidisseurs			
les paramètres		Calcul des contraintes	
K1X	25	σ_{1x} (MPa)	61,14265928
K1Y	8	σ_{1y} (MPa)	19,56565097
K4Y	34,3	σ_{4y} (MPa)	83,88772853
K3X	50	σ_{3x} (MPa)	122,2853186
Ha(m)	36	σ_{4x} (MPa)	25,16631856
a (mm)	500	σ_{3y} (MPa)	36,68559557
t (mm)	19	voir page 115 (5.3.2)	
P	0,35316		
K	2,445706371		



Les parties restantes de la feuille EXCEL

Bibliographie

- Disign of hydraulic gates.
- Cours rdm ENSAM 3^{ème} année.
- Techniques d'ingénieur.
- Cours géométrie des masses sur <http://www.ulb.ac.be/horta/>