



ESQUIVANNE : OUTIL DE CONCEPTION DES BARRAGES MOBILES DE NAVIGATION.

Rigo Philippe, Université de Liège, ANAST-FNRS, Belgique, ph.rigo@ulg.ac.be
Lizin Sandra, Closset Marie-Pierre, ANAST, Université de Liège, Belgique
Chapital Laura, Voies Navigables de France (VNF), France, laura.chapital@vnf.fr
Poligot-Pitsch Stéphanie, CETMEF, France, Stephanie.Poligot-Pitsch@equipement.gouv.fr

ABSTRACT

ESQUIVANNE : AN EARLY DESIGN TOOL OF RIVER NAVIGATION MOVABLE WEIRS

ANAST (University of Liege) developed ESQUIVANNE, a predimensioning software for movable weirs especially created for the preliminary project phase.

The purpose of ESQUIVANNE is to enable the operators to do quick predimensioning adapted to a specific configuration using several standard concepts, in order to compare quickly various solutions (types of closure devices, number of gate bays, possibility of standardisation and prefabrication, ...) and thus to help them to choose the type of weir and build it. The main goal is not to find a detailed technical solution for a specific configuration as a research department could do it but to give the designer adequate technical and financial assessment tools to enable him to compare several possibilities. This tool will be also used by the customer in order to control the coherence of the costs and to make an economic analyse. It can thus allow him to optimize the program of future work.

SOMMAIRE

ANAST (Université de Liège) a développé ESQUIVANNE, un logiciel de prédimensionnement des barrages mobiles de navigation spécifiquement conçu pour la phase d'études préliminaires.

ESQUIVANNE permet au maître d'oeuvre de réaliser rapidement un prédimensionnement d'une configuration donnée à partir de plusieurs concepts types, de comparer rapidement différentes solutions (type de bouchures, nombre de passes, possibilité de standardisation et de préfabrication...) et d'aider ainsi dans le choix du type de barrage. L'objectif n'est pas de fournir une solution technique détaillée comme les bureaux d'étude les produisent, mais de proposer aux concepteurs des outils d'évaluation technique et financière leur permettant de comparer plusieurs principes constructifs. Cet outil sera également utilisé par le maître d'ouvrage afin de contrôler la cohérence des coûts annoncés et d'effectuer une évaluation économique et ainsi optimiser le programme des travaux futurs.

KEYWORDS : Movable weir, preliminary design stage, cost estimation

1. INTRODUCTION

ANAST (Université de Liège) a développé ESQUIVANNE, un logiciel de prédimensionnement des barrages mobiles de navigation spécifiquement conçu pour la phase d'études préliminaires. L'idée est de promouvoir pour des tronçons de rivières des solutions standardisées, réduisant les coûts de construction, d'exploitation et de maintenance tout en améliorant la fiabilité des ouvrages. Cette étude a été commanditée par Voies Navigables de France qui s'est engagé envers l'État à reconstruire ou moderniser 144 barrages mobiles à manœuvres manuelles afin d'assurer la sécurité sur son réseau. Pour appuyer cette démarche, VNF a lancé un vaste programme de recherche, piloté par le CETMEF et co-financé par le ministère de l'Équipement.

Le logiciel se compose d'une série de modules, chacun pour un type de vanne, et contenant une partie technique et une partie financière. La partie technique permet de concevoir une esquisse de l'ouvrage en considérant certaines options, telles que le nombre de passes, le mode de construction, le type de matériaux... Les paramètres généraux requis pour ce prédimensionnement sont la longueur déversante, la hauteur de retenue, la hauteur de chute et des informations sommaires sur les paramètres géotechniques. En fonction des différents choix opérés, le coût du barrage est estimé dans la partie financière, avec une précision adaptée aux besoins de l'utilisateur et variant avec sa connaissance des coûts unitaires et du mode de construction. La décomposition du coût en différents grands postes (batardeau de construction, terrassements, béton, vanne...) permet de mettre en évidence la répartition budgétaire. Enfin, un dernier module permet de comparer les différentes configurations testées afin de réduire le coût global.

2. HISTORIQUE

Le point de départ du développement du logiciel EsquiVanne est une proposition, de l'ANAST, d'un concept de "barrages sur étagères". L'idée était d'éviter, dans la mesure du possible, le "cas par cas" et de se diriger vers des solutions standardisées dans l'optique de réduire les coûts de construction, d'exploitation et de maintenance des barrages ainsi que d'en améliorer la fiabilité. Pour chaque « étagère » correspondant à un type de bouchure, un prédimensionnement serait préalablement effectué pour des gammes définies de hauteur de chute et de largeur déversante (« les livres »), le concepteur venant alors prendre parmi ces « livres » ceux qui correspondraient le mieux à son cas. Cela lui permet à la fois de comparer les types de bouchures (les livres de chaque étagère traitant de la même gamme), et la conception géométrique (différents livres de la même étagère) et d'aborder la reconstruction de plusieurs barrages avec l'angle de vue de la standardisation.

Afin d'appliquer le concept de "barrages sur étagères" aux 144 barrages mobiles devant être remplacés/rénovés, une étude statistique de ceux-ci a d'abord été réalisée en vue de déterminer les gammes de hauteurs et de longueurs dont il était nécessaire d'effectuer le prédimensionnement. Cette étude a conduit à la répartition suivante (Figure 1).

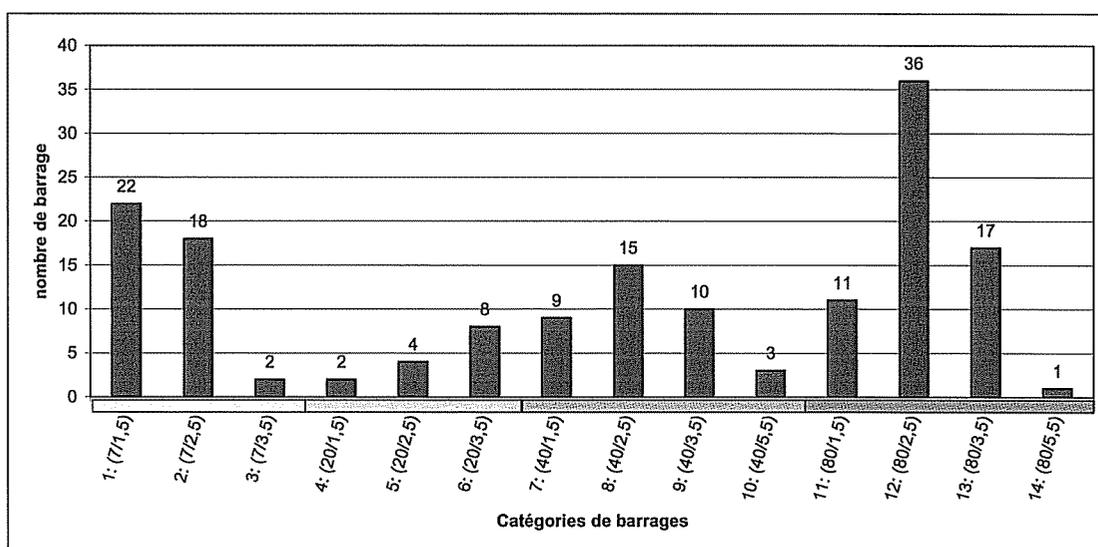


Figure 1 : Définition des catégories de barrages

14 catégories ont été identifiées et numérotées de 1 à 14. Les chiffres donnés entre parenthèses sont la longueur déversante ainsi que la hauteur de retenue.

Catégories	Longueur (m)	Retenue (m)	Nombre
1	7 m [0 → 13.5 m [1.5	22
2		2.5	18
3		3.5	2
4	20 m [13.5 → 30 m [1.5	2
5		2.5	4
6		3.5	8
7	40 m [30 → 60 m [1.5	9
8		2.5	15
9		3.5	10
10		5.5	3
11	80 m [60 → 120 m [1.5	11
12		2.5	36
13		3.5	17
14		5.5	1

Tableau 1 : Tableau récapitulatif

Le but de cette démarche est double :

- Permettre la mise en évidence sur une même rivière (ou tronçon de rivière) des barrages appartenant à la même catégorie en vue de définir les zones propices à la standardisation. La standardisation est une technique de conception qui devrait pouvoir, en jouant sur l'effet d'échelle, diminuer le coût global de reconstruction des 144 barrages concernés par le programme de rénovation des barrages mobiles à manœuvres manuelles lancé par VNF.
- Étudier uniquement 14 barrages « types » de manière générale afin de dégager pour chaque catégorie les avantages que peuvent présenter tels ou tels type de barrages ou mode de construction. Il est bien entendu que le but n'est pas de définir la solution idéale pour chaque barrage type car les conditions particulières de chaque site auront une importance dans le choix final.

Cette analyse a conduit d'abord à l'élaboration d'un outil basé sur des classeurs Excel® puis au développement d'un logiciel dédié autonome (langage XML). Ces outils effectuant des calculs de prédimensionnement pour chaque cas, l'utilisateur n'est en fait pas limité aux catégories exposées ci-dessus, mais peut entrer ses propres données. Voulu comme un outil simple d'utilisation, les données strictement nécessaires sont très peu nombreuses : hauteur de chute, largeur déversante, nombre de passes voulues. Pour toutes les autres données (géométriques, géotechniques, moyens de construction, coûts unitaires ...) des valeurs par défaut sont proposées, bien sûr modifiables par l'utilisateur. Cela permet une utilisation au tout début du projet, quand peu de données sont encore disponibles.

3. TYPES DE BOUCHURE

Le but de l'outil EsquiVanne est de pouvoir comparer rapidement différentes solutions (types de bouchures, nombre de passes, standardisation...) pour une configuration donnée afin d'aider l'exploitant dans le choix du type de barrage et de sa construction.

Bien qu'il existe à l'heure actuelle différents types de barrages mobiles il n'est pas utile de les intégrer tous dans cette étude. Après discussion avec les différents intervenants, les barrages sélectionnés pour entrer dans cette étude comparative sont :

- Les barrages à clapet (traditionnellement utilisés en France)

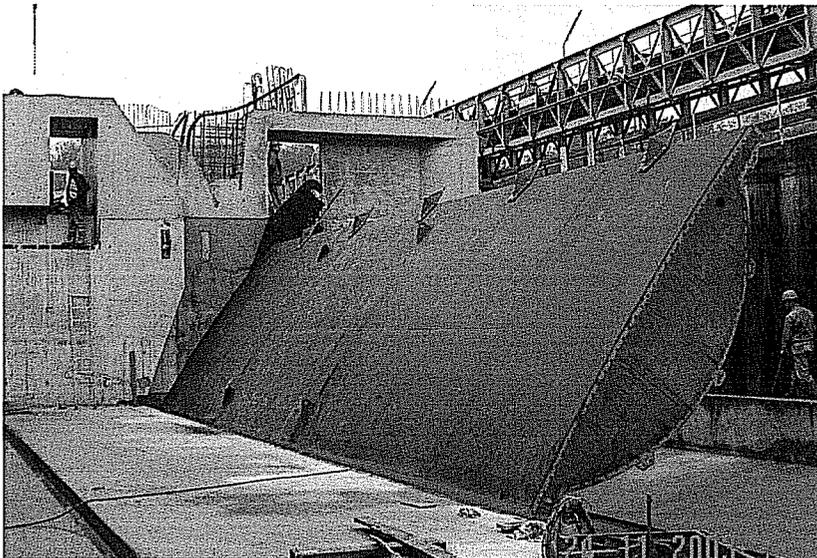


Figure 2 : Vanne clapet (Barrage de Creil sur l'Oise)

- le barrage gonflable : Les vannes gonflables sont composées d'une membrane en caoutchouc qui se gonfle ou se dégonfle selon le niveau d'eau amont. La membrane peut être remplie d'air ou d'eau.

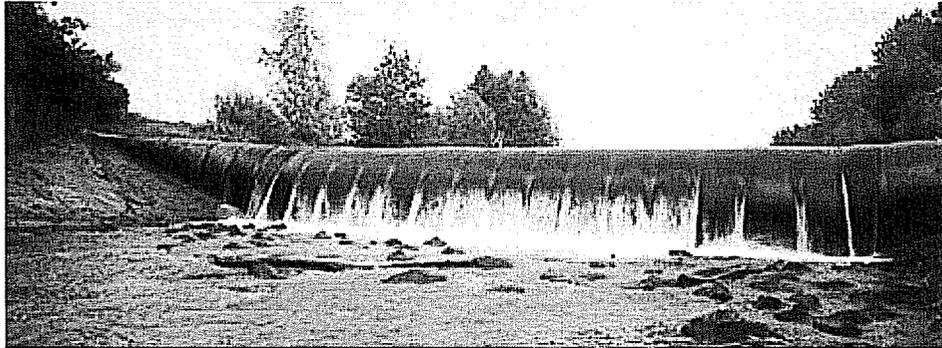


Figure 3 : Vanne gonflable

- le barrage gonflable à volets métalliques (généralement appelés barrage Obermeyer par abus de langage à cause d'une des sociétés fournissant ce type de produit). D'une manière générale, la vanne gonflable à volet métallique se compose d'une vanne clapet s'appuyant sur un coussin gonflé à l'air permettant de réguler de manière infinie la position du volet métallique, de la position complètement couchée, à celle complètement debout. Ce système utilise uniquement des membranes gonflées à l'air car la pression exercée sur le coussin est plus importante que dans le cas d'un barrage gonflable traditionnel et cela dû à la présence du poids du clapet venant s'ajouter au poids de l'eau. Il serait de plus très difficile d'avoir un bon comportement du système avec des membranes gonflées à l'eau.

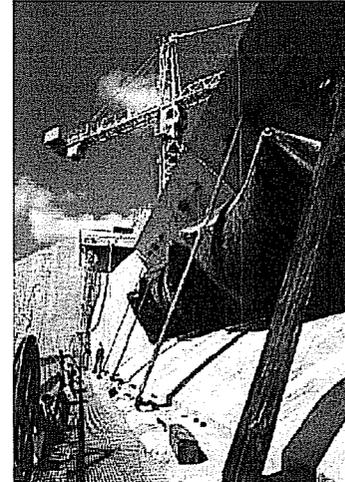


Figure 4 : Vanne gonflable à volet métallique

- le barrage segment (barrage généralement utilisé en Belgique) : ce type de vanne est constitué par un bordé amont circulaire raidi par un caisson non étanche maintenu en extrémité par des bras permettant la rotation de l'ensemble autour d'axes scellés dans les piles et situés au centre du cercle du bordé amont. Dans ces conditions, la poussée de l'eau amont et aval a une résultante orientée vers le centre du cercle, donc vers les axes, et la manœuvre est simplement liée au poids de la vanne.

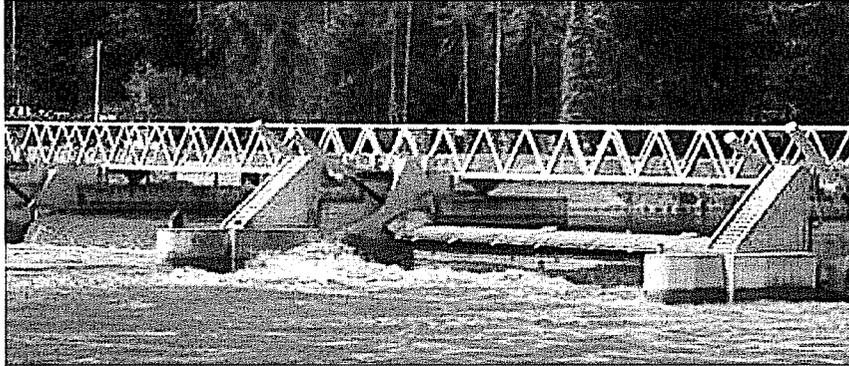


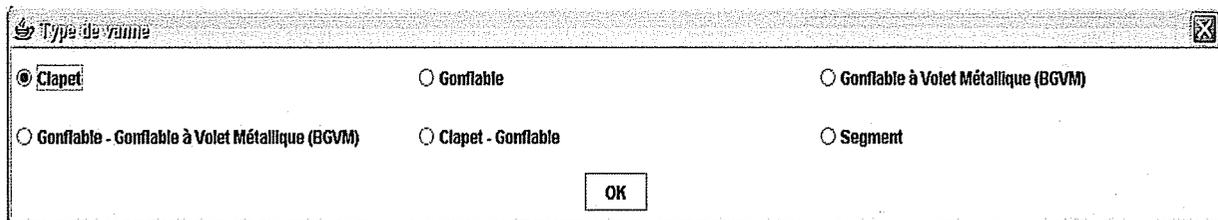
Figure 5 : Vanne segment (Haute-Meuse, Belgique)

4. ESQUIVANNE : PROCÉDURE D'UTILISATION

4.1. Choix de la bouchure

L'étude de chaque type de vannes étant chaque fois un cas d'espèce, une étude de dimensionnement détaillée pour chaque type de bouchure a été réalisée.

Le choix du type de bouchure est par conséquent la première étape à effectuer à l'ouverture du logiciel.



Fiches mixtes

Lors de l'étude des différentes fiches (vannes clapets, gonflables, gonflables à volets métalliques, segment) il apparaît que les quatre types de vannes ont des avantages différents et qu'il n'est pas évident de définir une règle permettant clairement de faire un choix. L'idée est donc née d'essayer de tirer profit au maximum des avantages des différentes vannes en combinant celles-ci sur un même barrage. La combinaison de plusieurs types de vannes sur un même barrage multiplie également les disciplines, c'est pourquoi une combinaison de maximum deux vannes différentes est étudiée. De cette façon, nous pouvons jouer au mieux sur les avantages des deux types de vannes choisis en minimisant les inconvénients.

En particulier, du fait de la configuration hydraulique et hydrologique des barrages VNF à reconstruire, une solution combinant une vanne de régulation fine de faible largeur et une vanne à ouverture « en tout ou rien » de grande largeur pour laisser passer les débits de crue apparaît très intéressante. Deux types de fiches mixtes ont donc été étudiés, la combinaison d'une vanne gonflable et d'une vanne gonflable à volet métallique ainsi que la combinaison d'une vanne clapet et d'une vanne gonflable.

4.2. Situation

Les paramètres de l'onglet 'situation' permettent de définir le site de manière d'abord générale puis plus détaillée selon les données et les besoins de l'utilisateur (caractéristiques géotechniques, paramètres de l'ancien barrage et de la rivière).

Fichier	
Situation	Configuration Details
Paramètres principaux	Paramètres principaux
Paramètres propres au site	Hauteur de retenue (m): 3.75
Paramètres secondaires	Longueur déversante (m): 74.25
Ancien barrage	Hauteur de chute (m): 2.01
	Hauteur aval (m):

4.3. Configuration

Cette partie permet de déterminer la configuration générale du "nouveau" barrage (nombre de passes, dimension des éléments de génie civil, électromécanique, ...).

Situation	Configuration	Détails																																																		
<table border="1"> <tr> <td>Génie civil</td> <td rowspan="3">Génie civil</td> <td>Réutilisation des gravats de démolition</td> </tr> <tr> <td>Electromécanique</td> <td>Pourcentage récupéré (%): <input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>Efforts</td> <td>Géométrie générale</td> </tr> </table>			Génie civil	Génie civil	Réutilisation des gravats de démolition	Electromécanique	Pourcentage récupéré (%): <input type="text" value="0"/>	Efforts	Géométrie générale																																											
Génie civil	Génie civil	Réutilisation des gravats de démolition																																																		
Electromécanique		Pourcentage récupéré (%): <input type="text" value="0"/>																																																		
Efforts		Géométrie générale																																																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Nombre de passes (Passes de même longueur): <input type="text" value="3"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Radier</td> </tr> <tr> <td>Longueur (m):</td> <td><input type="text" value="15"/></td> </tr> <tr> <td>Valeur proposée:</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>Epaisseur (m):</td> <td><input type="text" value="2.5"/></td> </tr> <tr> <td>Valeur proposée:</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Bec</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Bec amont</td> </tr> <tr> <td>Longueur (m):</td> <td><input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>Hauteur (m):</td> <td><input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Bec aval</td> </tr> <tr> <td>Longueur (m):</td> <td><input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td>Hauteur (m):</td> <td><input type="text" value="0"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Parafouille</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Parafouille amont</td> </tr> <tr> <td>Profondeur (m):</td> <td><input type="text" value="5"/></td> </tr> <tr> <td>Epaisseur (m):</td> <td><input type="text" value="0.01"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Parafouille aval</td> </tr> <tr> <td>Profondeur (m):</td> <td><input type="text" value="5"/></td> </tr> <tr> <td>Epaisseur (m):</td> <td><input type="text" value="0.01"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Enrochement aval</td> </tr> <tr> <td>Longueur (m):</td> <td><input type="text" value="5"/></td> </tr> <tr> <td>Valeur proposée:</td> <td>5-10</td> </tr> <tr> <td>Profondeur (m):</td> <td><input type="text" value="0.5"/></td> </tr> <tr> <td>Valeur proposée:</td> <td>0.5</td> </tr> </table>			Nombre de passes (Passes de même longueur): <input type="text" value="3"/>		Radier		Longueur (m):	<input type="text" value="15"/>	Valeur proposée:	8.5	Epaisseur (m):	<input type="text" value="2.5"/>	Valeur proposée:	1.3	Bec		Bec amont		Longueur (m):	<input type="text" value="0"/>	Hauteur (m):	<input type="text" value="0"/>	Bec aval		Longueur (m):	<input type="text" value="0"/>	Hauteur (m):	<input type="text" value="0"/>	Parafouille		Parafouille amont		Profondeur (m):	<input type="text" value="5"/>	Epaisseur (m):	<input type="text" value="0.01"/>	Parafouille aval		Profondeur (m):	<input type="text" value="5"/>	Epaisseur (m):	<input type="text" value="0.01"/>	Enrochement aval		Longueur (m):	<input type="text" value="5"/>	Valeur proposée:	5-10	Profondeur (m):	<input type="text" value="0.5"/>	Valeur proposée:	0.5
Nombre de passes (Passes de même longueur): <input type="text" value="3"/>																																																				
Radier																																																				
Longueur (m):	<input type="text" value="15"/>																																																			
Valeur proposée:	8.5																																																			
Epaisseur (m):	<input type="text" value="2.5"/>																																																			
Valeur proposée:	1.3																																																			
Bec																																																				
Bec amont																																																				
Longueur (m):	<input type="text" value="0"/>																																																			
Hauteur (m):	<input type="text" value="0"/>																																																			
Bec aval																																																				
Longueur (m):	<input type="text" value="0"/>																																																			
Hauteur (m):	<input type="text" value="0"/>																																																			
Parafouille																																																				
Parafouille amont																																																				
Profondeur (m):	<input type="text" value="5"/>																																																			
Epaisseur (m):	<input type="text" value="0.01"/>																																																			
Parafouille aval																																																				
Profondeur (m):	<input type="text" value="5"/>																																																			
Epaisseur (m):	<input type="text" value="0.01"/>																																																			
Enrochement aval																																																				
Longueur (m):	<input type="text" value="5"/>																																																			
Valeur proposée:	5-10																																																			
Profondeur (m):	<input type="text" value="0.5"/>																																																			
Valeur proposée:	0.5																																																			

Le bouton 'Schéma' permet de visualiser les dimensions de l'ouvrage au moyen d'une coupe transversale schématisée.

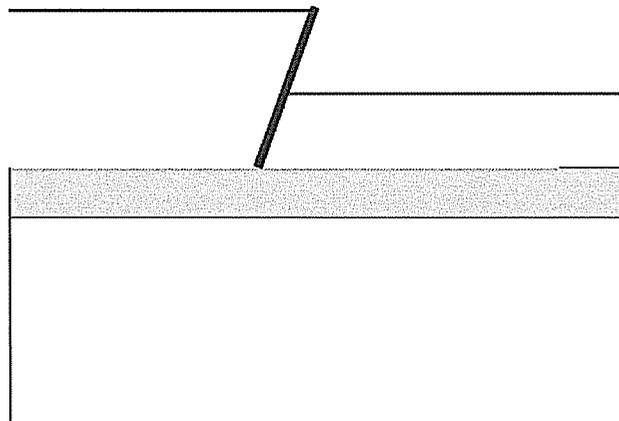


Figure 6 : Schématisation d'une vanne clapet par le logiciel EsquiVanne

4.4. Détails

Cet onglet contient tous les renseignements nécessaires pour les calculs quantitatifs du bordereau de prix. Les valeurs affichées sont les valeurs prises par défaut mais elles peuvent être modifiées par l'utilisateur.

Situation	Configuration	Details
Installation du chantier		<p>Béton - Acier - Coffrage</p> <p>Béton de sous fondation Epaisseur (m): <input type="text" value="0.1"/></p> <p>Coffrages lisses Radier O/N: <input type="text" value="1"/> Cuiées O/N: <input type="text" value="1"/> Piles O/N: <input type="text" value="1"/> Bec amont O/N: <input type="text" value="1"/> Bec aval O/N: <input type="text" value="1"/></p> <p>Acier pour béton Quantité d'acier (kg/m³): <input type="text" value="145"/></p> <p>Rainure batardeau Nombre de rainures: <input type="text" value="2"/></p> <p>Béton colloïdal Epaisseur (m): <input type="text" value="0"/></p> <p>Graviers - Gallets Profondeur (m): <input type="text" value="0.3"/></p> <p>Connecteurs Quantité (kg/m³): <input type="text" value="60"/></p> <p>Barbacanes Espacement (m): <input type="text" value="2.5"/> Nombre de files: <input type="text" value="2"/></p> <p style="text-align: right;">Dimensionner</p>
Batardeau de construction		
Terrassement		
Béton - Acier - Coffrage		
Serrurerie		
Local technique		
Batardeau de maintenance		
Parafouilles		
Vérins		

4.5. Dimensionnement

Dans cette fenêtre apparaissent les valeurs résultant des différents calculs de prédimensionnement des différentes parties du barrage. Cette feuille permet également d'avoir une vue générale des différentes données caractérisant le barrage.

Situation	Configuration	Details	Dimensionnement																																																																																																																								
<table border="1"> <tr> <td>Génie civil</td> <td rowspan="3">Efforts</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Electromécanique</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Efforts</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>				Génie civil	Efforts			Electromécanique			Efforts																																																																																																																
Génie civil	Efforts																																																																																																																										
Electromécanique																																																																																																																											
Efforts																																																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Poids propre</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pds total clapet (kNm):</td> <td></td> <td>10.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 pile (kN):</td> <td></td> <td>5 902.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>n piles/ml (kN/m):</td> <td></td> <td>137.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 cuées/ml (kN/m):</td> <td></td> <td>157.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>radier (kN):</td> <td></td> <td>80 484.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>radier/ml (kN/m):</td> <td></td> <td>937.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Pression d'eau</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(A) (kN/m²):</td> <td></td> <td>37.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P am (kN/m):</td> <td></td> <td>70.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(B) (kN/m²):</td> <td></td> <td>17.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P av (kN/m):</td> <td></td> <td>15.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Sous pression</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(a) (m):</td> <td></td> <td>3.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(b) (m):</td> <td></td> <td>1.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>trajet eau (m):</td> <td></td> <td>90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(m):</td> <td></td> <td>81.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(a)* (m):</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>paraf amont (m):</td> <td></td> <td>37.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>paraf amont (e min) (m):</td> <td></td> <td>33.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>paraf aval (m):</td> <td></td> <td>37.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>paraf aval (e min) (m):</td> <td></td> <td>33.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ha* (m):</td> <td></td> <td>1.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ha* (e min) (m):</td> <td></td> <td>1.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>hb* (m):</td> <td></td> <td>0.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>hb* (e min) (m):</td> <td></td> <td>0.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pa(real) (m):</td> <td></td> <td>2.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pa(real) (e min) (m):</td> <td></td> <td>2.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pb(real) (m):</td> <td></td> <td>2.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pb(real) (e min) (m):</td> <td></td> <td>2.6</td> <td></td> </tr> </table>				Poids propre				Pds total clapet (kNm):		10.3		1 pile (kN):		5 902.9		n piles/ml (kN/m):		137.5		2 cuées/ml (kN/m):		157.9		radier (kN):		80 484.4		radier/ml (kN/m):		937.5		Pression d'eau				P(A) (kN/m²):		37.5		P am (kN/m):		70.3		P(B) (kN/m²):		17.4		P av (kN/m):		15.1		Sous pression				P(a) (m):		3.8		P(b) (m):		1.7		trajet eau (m):		90		(m):		81.6		P(a)* (m):		2		paraf amont (m):		37.5		paraf amont (e min) (m):		33.3		paraf aval (m):		37.5		paraf aval (e min) (m):		33.3		ha* (m):		1.2		ha* (e min) (m):		1.2		hb* (m):		0.8		hb* (e min) (m):		0.8		Pa(real) (m):		2.9		Pa(real) (e min) (m):		2.9		Pb(real) (m):		2.6		Pb(real) (e min) (m):		2.6	
Poids propre																																																																																																																											
Pds total clapet (kNm):		10.3																																																																																																																									
1 pile (kN):		5 902.9																																																																																																																									
n piles/ml (kN/m):		137.5																																																																																																																									
2 cuées/ml (kN/m):		157.9																																																																																																																									
radier (kN):		80 484.4																																																																																																																									
radier/ml (kN/m):		937.5																																																																																																																									
Pression d'eau																																																																																																																											
P(A) (kN/m²):		37.5																																																																																																																									
P am (kN/m):		70.3																																																																																																																									
P(B) (kN/m²):		17.4																																																																																																																									
P av (kN/m):		15.1																																																																																																																									
Sous pression																																																																																																																											
P(a) (m):		3.8																																																																																																																									
P(b) (m):		1.7																																																																																																																									
trajet eau (m):		90																																																																																																																									
(m):		81.6																																																																																																																									
P(a)* (m):		2																																																																																																																									
paraf amont (m):		37.5																																																																																																																									
paraf amont (e min) (m):		33.3																																																																																																																									
paraf aval (m):		37.5																																																																																																																									
paraf aval (e min) (m):		33.3																																																																																																																									
ha* (m):		1.2																																																																																																																									
ha* (e min) (m):		1.2																																																																																																																									
hb* (m):		0.8																																																																																																																									
hb* (e min) (m):		0.8																																																																																																																									
Pa(real) (m):		2.9																																																																																																																									
Pa(real) (e min) (m):		2.9																																																																																																																									
Pb(real) (m):		2.6																																																																																																																									
Pb(real) (e min) (m):		2.6																																																																																																																									
		Calculer	Vérins																																																																																																																								

Vérifications

Outre le dimensionnement du barrage, le logiciel effectue une série de vérification sommaire. Des tests sont réalisés concernant la non flottaison du radier, les affouillements internes et la stabilité de l'ouvrage.

La non flottaison du radier est vérifiée dans le cas le plus défavorable soit dans la phase de construction. Une vérification est également réalisée dans le cas où les piles ne sont pas encore installées, de même que les vannes. La vérification des affouillements internes est réalisée par la règle de Bligh.

Du point de vue de la stabilité de l'ouvrage, le logiciel vérifie la capacité portante de l'ouvrage, le glissement et le renversement comme présenté à la figure ci-dessous.

Vérification stabilité	
Capacité portante	
Somme résultante verticale (N) (KNm):	937.5
Somme résultante horizontale (T) (KNm):	55.2
Moment (M) (KN.m/m):	-387.8
TAt:	0.1
Inclinaison ch (rad):	0.1
Inclinaison ch en degrés (degrés):	3.4
Excentricité (m):	0.4
semelle équiv (m):	14.2
Termes correctifs de forme	
Sq:	1
Sc:	1
Sg:	0.9
Termes correctifs d'inclinaison	
Iq:	0.9
Ic:	0.9
Ig:	0.8
Paramètre Nl	
Nq:	15.9
Nc:	31.2
Ng:	15.8
Force portante limite	
D-prof fondation:	2.5
q-yD:	45
p (KN/m²):	2162.9
Force portante (KN/m²):	30653
Sécu portance:	32.7
Glissement	
Phi sol rad:	0.5
tan phi:	0.6
Sécu glissement:	9.8
Renversement	
eB:	0.000000

4.6. Calculs

L'onglet 'calculs' donne les résultats (quantitatifs) des différents calculs effectués pour la détermination des quantités nécessaires à l'élaboration du bordereau de prix.

Situation	Configuration	Details	Dimensionnement	Calcul																																																												
<table border="1"> <tr><td>Installation du chantier</td></tr> <tr><td>Batardeaux de construction</td></tr> <tr><td>Terrassement</td></tr> <tr><td>Béton - Acier - Coffrages</td></tr> <tr><td>Serrurerie</td></tr> <tr><td>Local technique</td></tr> <tr><td>Batardeau de maintenance</td></tr> <tr><td>Parafouilles</td></tr> <tr><td>Vérins</td></tr> <tr><td>Démolition ancien barrage</td></tr> </table>					Installation du chantier	Batardeaux de construction	Terrassement	Béton - Acier - Coffrages	Serrurerie	Local technique	Batardeau de maintenance	Parafouilles	Vérins	Démolition ancien barrage																																																		
Installation du chantier																																																																
Batardeaux de construction																																																																
Terrassement																																																																
Béton - Acier - Coffrages																																																																
Serrurerie																																																																
Local technique																																																																
Batardeau de maintenance																																																																
Parafouilles																																																																
Vérins																																																																
Démolition ancien barrage																																																																
<table border="1"> <tr><td colspan="2">Terrassement</td></tr> <tr><td colspan="2">Terrassement culée</td></tr> <tr><td>Hauteur (m):</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>Largeur base (m):</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>Angle du talus (degrés):</td><td>45</td></tr> <tr><td>Largeur sup (m):</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>Longueur sup (m):</td><td>22.4</td></tr> <tr><td>Petite base (m²):</td><td>27</td></tr> <tr><td>Grande base (m²):</td><td>131.9</td></tr> <tr><td>Volume 1 (m³):</td><td>319.8</td></tr> <tr><td>Volume 2 (m³):</td><td>159.9</td></tr> <tr><td>Volume 3 (m³):</td><td>66.5</td></tr> <tr><td>Volume (m³):</td><td>226.4</td></tr> <tr><td colspan="2">Volume déblais</td></tr> <tr><td>Radier (m³):</td><td>3 219.4</td></tr> <tr><td>Culées (m³):</td><td>452.8</td></tr> <tr><td>Bec amont (m³):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Bec aval (m³):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Total (m³):</td><td>3 672.2</td></tr> <tr><td colspan="2">Enrochements</td></tr> <tr><td>Volume enrochements aval (m³):</td><td>214.6</td></tr> <tr><td>Distance apport:</td><td>30</td></tr> <tr><td colspan="2">Réutilisation de gravats</td></tr> <tr><td>Gravat réutilisable (m³):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Volume d'enrochements (m³):</td><td>214.6</td></tr> <tr><td>Enrochements à fournir (m³):</td><td>214.6</td></tr> <tr><td colspan="2">Egalisation</td></tr> <tr><td>Epaisseur (m):</td><td>0.5</td></tr> <tr><td colspan="2">Récupération</td></tr> <tr><td>Volume de débris récupérés (m³):</td><td>0</td></tr> </table>					Terrassement		Terrassement culée		Hauteur (m):	4.4	Largeur base (m):	1.5	Angle du talus (degrés):	45	Largeur sup (m):	5.9	Longueur sup (m):	22.4	Petite base (m²):	27	Grande base (m²):	131.9	Volume 1 (m³):	319.8	Volume 2 (m³):	159.9	Volume 3 (m³):	66.5	Volume (m³):	226.4	Volume déblais		Radier (m³):	3 219.4	Culées (m³):	452.8	Bec amont (m³):	0	Bec aval (m³):	0	Total (m³):	3 672.2	Enrochements		Volume enrochements aval (m³):	214.6	Distance apport:	30	Réutilisation de gravats		Gravat réutilisable (m³):	0	Volume d'enrochements (m³):	214.6	Enrochements à fournir (m³):	214.6	Egalisation		Epaisseur (m):	0.5	Récupération		Volume de débris récupérés (m³):	0
Terrassement																																																																
Terrassement culée																																																																
Hauteur (m):	4.4																																																															
Largeur base (m):	1.5																																																															
Angle du talus (degrés):	45																																																															
Largeur sup (m):	5.9																																																															
Longueur sup (m):	22.4																																																															
Petite base (m²):	27																																																															
Grande base (m²):	131.9																																																															
Volume 1 (m³):	319.8																																																															
Volume 2 (m³):	159.9																																																															
Volume 3 (m³):	66.5																																																															
Volume (m³):	226.4																																																															
Volume déblais																																																																
Radier (m³):	3 219.4																																																															
Culées (m³):	452.8																																																															
Bec amont (m³):	0																																																															
Bec aval (m³):	0																																																															
Total (m³):	3 672.2																																																															
Enrochements																																																																
Volume enrochements aval (m³):	214.6																																																															
Distance apport:	30																																																															
Réutilisation de gravats																																																																
Gravat réutilisable (m³):	0																																																															
Volume d'enrochements (m³):	214.6																																																															
Enrochements à fournir (m³):	214.6																																																															
Egalisation																																																																
Epaisseur (m):	0.5																																																															
Récupération																																																																
Volume de débris récupérés (m³):	0																																																															
<input type="button" value="Verins"/>																																																																

4.7. Vannes

Pour la vanne de type clapet, un onglet supplémentaire est ajouté pour les différents calculs afférant aux vérins. En ce qui concerne le dimensionnement de la bouchure clapet, il n'existe pas de tables de dimensionnement sur lesquelles nous pouvions nous baser. L'exploitation des informations relatives aux vannes posées ces quinze dernières années n'a pas fourni de ligne directrice quant à la prédiction de leur poids ou de leur prix. Dans l'économie globale du barrage, le coût de la vanne est pourtant très significatif. Pour obtenir une prédiction réaliste des quantités, un prédimensionnement succinct a été réalisé pour déterminer le poids de la vanne. L'estimation du coût du vérin en fonction de l'effort et de la course du vérin a donc été obtenue par une analyse de certaines offres de prix de fournisseurs de vérins, ce qui nous a permis d'obtenir le graphique suivant.

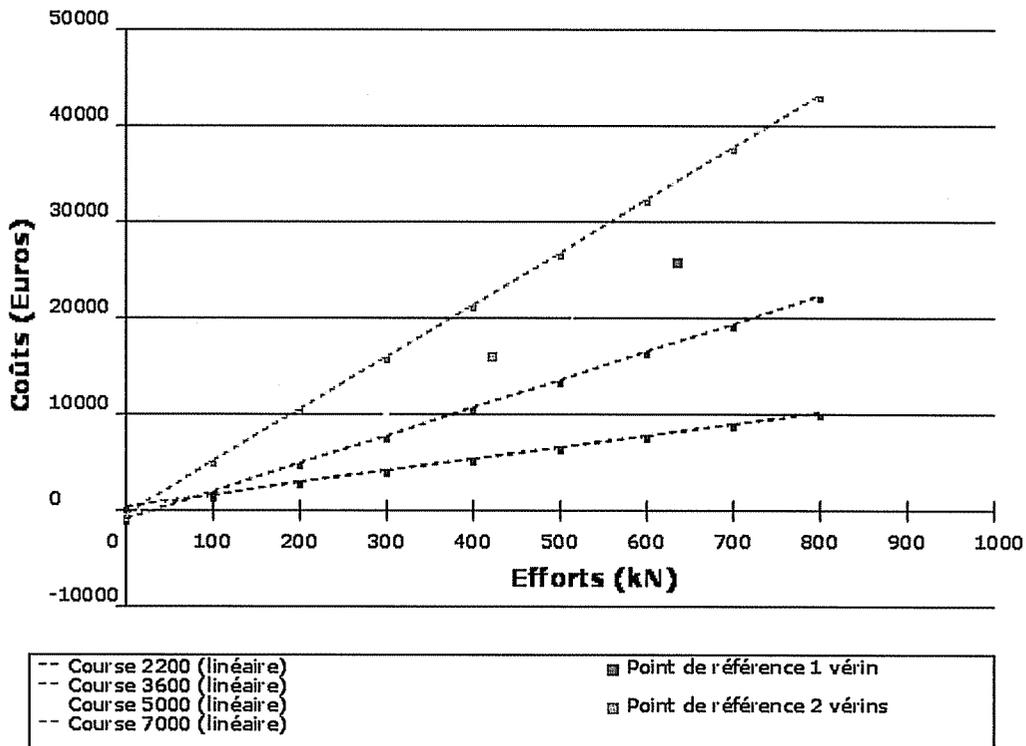


Figure 6 : Graphique du coût du vérin en fonction de l'effort pour une course donnée

4.8. Bordereau de prix

Le bordereau de prix est découpé en 11 grands postes chacun subdivisé en plusieurs sous postes. Ces postes sont : batardeau de construction, fondation, génie civil, vannes, serrurerie (passerelle...), maintenance.

Pour chaque poste sont donnés :

- Le prix unitaire
- La quantité
- Le coût total du poste considéré

Les prix unitaire peuvent être modifiés par l'utilisateur en fonction de ses connaissances (actualisation, prix régionaux...). Les prix unitaires par défaut ont été attribués suite à une moyenne effectuée sur plusieurs marchés de barrages français, en euros valeur 2004. Les quantités sont issues des calculs précédemment décrits.

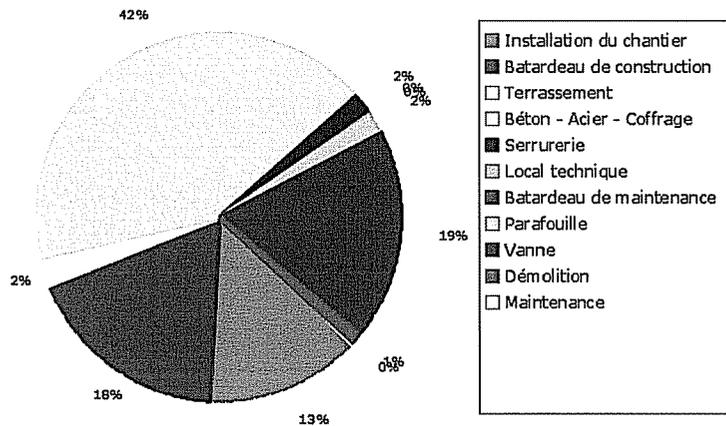
Vanne	
Clapet métallique	
Prix unitaire (€/kg):	8
Quantité:	107323
Coût (€):	843838
Vérins	
Nombre de vérins pas passe	
1 vérin de manoeuvre O/N:	0
1 vérin de manoeuvre	
Prix (€/passe):	28022.5
Coût (€):	0
2 vérins de manoeuvre O/N:	1
2 vérins de manoeuvre	
Prix (€/passe):	35252.5
Coût (€):	105757.4
Placement	
Prix unitaire (€/vérin):	400
Quantité:	6
Coût (€):	2400
Total (€):	108157.4
Centrales hydrauliques	
Nombre total de centrales hydrauliques : 1	
Prix unitaire (€/pc):	8600
Coût (€):	8600
Tuyauteries	
Centrales dans local technique O/N: 1	
Centrales dans local technique	
Prix unitaire (€/m):	44
Quantité:	523
Coût (€):	23009.8
Centrale sur pile O/N: 0	
Centrale sur pile	
Prix unitaire (€/m):	44
Quantité:	191.9
Coût (€):	0
Total tuyauteries (€):	23009.8
Total vérins (€):	139767.2
Capturs de mesure de déplacement O/N: 1	
Capturs de mesure de déplacement	
Prix unitaire (€):	5000
Quantité:	6
Coût (€):	30000
Commandes	
Armoire électrique de commandes O/N: 0	
Armoire électrique de commandes	
Prix unitaire (€):	2300
Coût (€):	0
Commandes automatique O/N: 1	
Commandes automatique	
Prix unitaire (€):	8000
Coût (€):	8000
Total commandes (€):	8000
Coordination des travaux:	
Prix unitaire (€):	5
Coût (€):	41085.3
Total vanne (€):	852780.5

4.9. Analyse des coûts

L'onglet d'analyse des coûts reprend tout d'abord un tableau et un diagramme des principaux coûts de la construction du barrage.

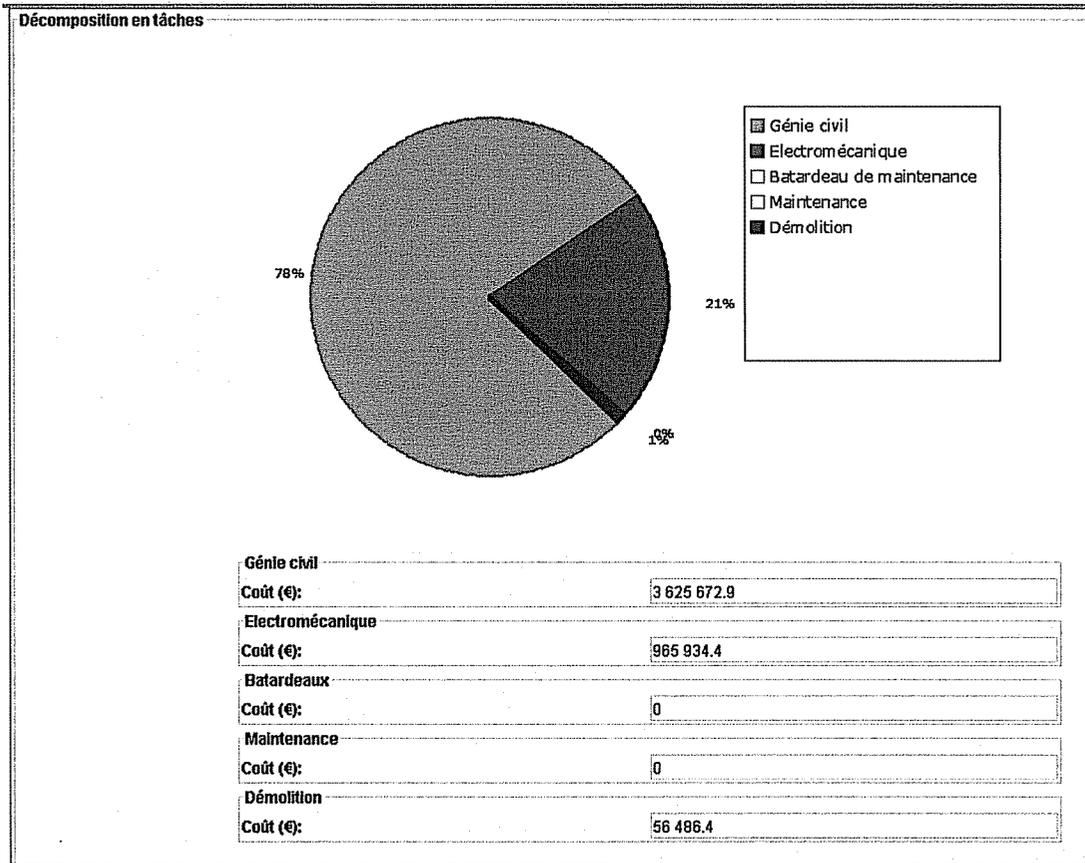
Le diagramme à secteurs (« camembert ») permet de visualiser graphiquement cette répartition en postes et de mettre en évidence les postes importants dans la construction d'un barrage. Pour l'utilisateur, cela permet éventuellement de concentrer ses efforts de réduction du coût sur les postes les plus importants.

Récomposition en postes

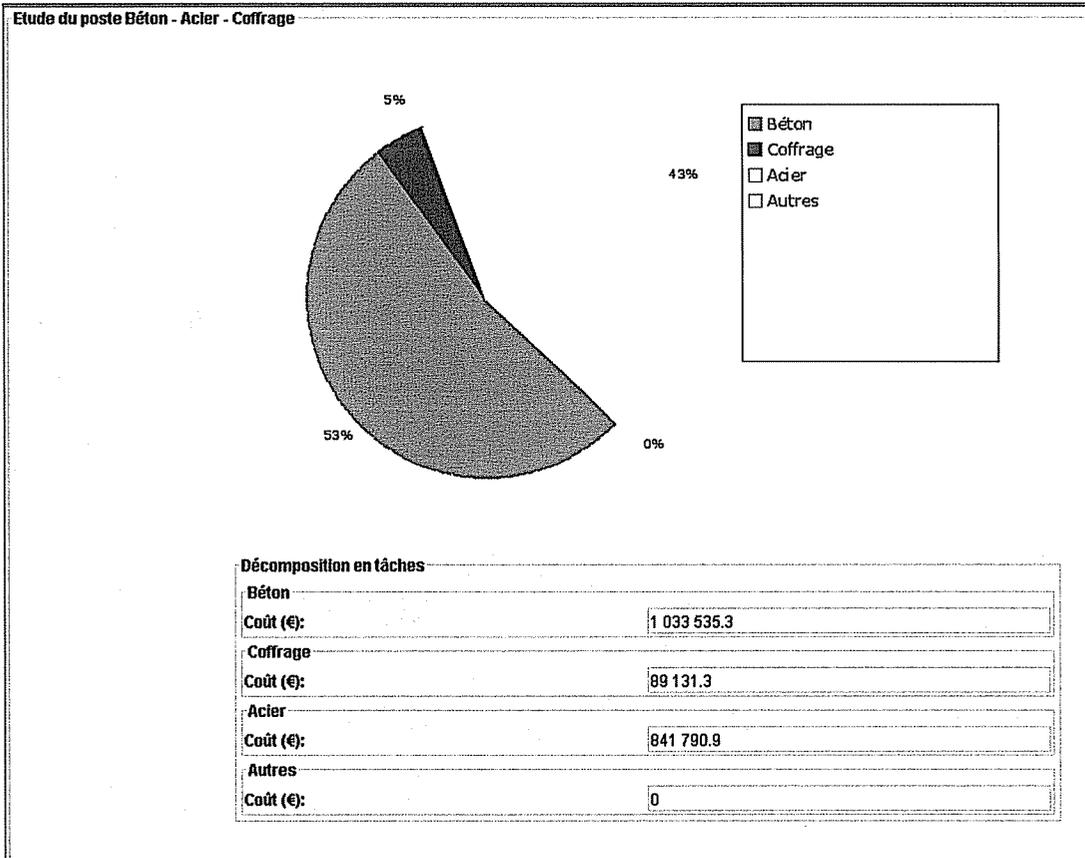


Installation du chantier	
Coût (€):	621 368,7
Batardeaux de construction	
Coût (€):	843 846,1
Terrassement	
Coût (€):	112 952
Béton - Acier - Coffrage	
Coût (€):	1 964 457,6
Serrurerie	
Coût (€):	89 532,3
Local technique	
Coût (€):	13 611,6
Battardage	
Coût (€):	0
Parafouille	
Coût (€):	83 048,5
Vanne	
Coût (€):	862 790,5
Démolition	
Coût (€):	56 486,4
Maintenance	
Coût (€):	0
Total (€):	4 648 093,7

Un deuxième diagramme reprend une décomposition du coût plus traditionnelle, c'est-à-dire suivant la décomposition génie civil, électromécanique, batardeaux, maintenance et démolition.



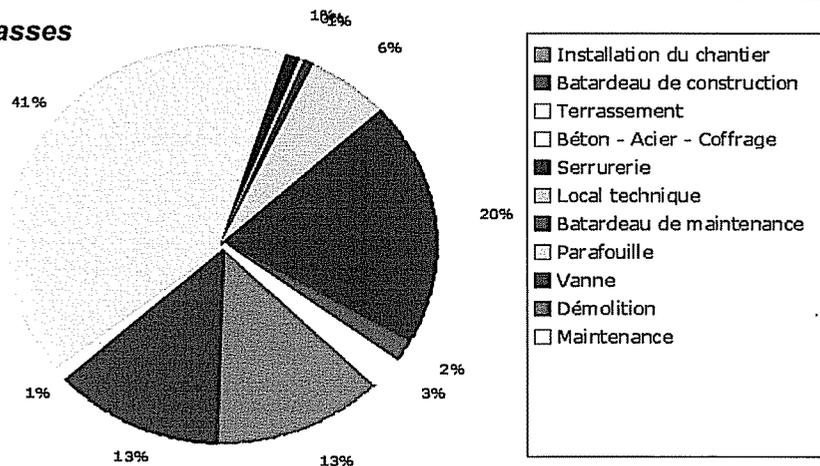
Enfin un diagramme et un tableau reprennent les coûts du poste important « Béton - Acier – Coffrage ».



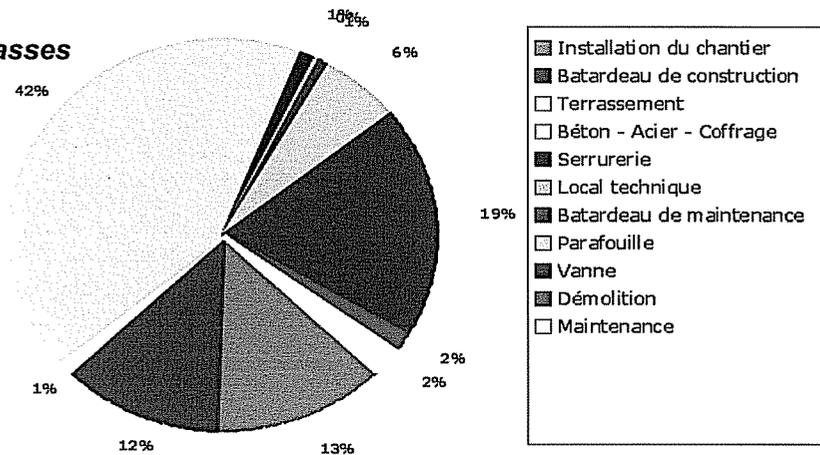
4.10. Comparaison

Enfin, une dernière possibilité permet de comparer les différentes configurations testées afin de réduire le coût global. L'exemple montre la comparaison pour l'application d'un barrage clapet avec, pour le premier diagramme, trois passes et pour le second diagramme, quatre passes.

Coût global : 3 passes



Coût global : 4 passes



4.11. Aide du logiciel

Un fichier d'aide sous forme d'un fichier d'aide Windows ® accompagne le logiciel. Il regroupe à la fois les hypothèses principales du logiciel : configurations de calculs utilisées (telles le type de passerelle, passes de largeur égale...), les méthodes de vérification du dimensionnement, les informations générales utilisées pour chaque vanne, ainsi que des conseils pour l'utilisation du logiciel.



5. CONCLUSIONS

L'idée de départ de l'outil EsquiVanne était de développer le concept de «barrage sur étagères» et d'éviter, dans la mesure du possible, le «cas par cas», en créant des prédimensionnements de catégories. Cela devrait avoir comme conséquence de réduire les coûts de construction et d'améliorer la fiabilité (robustesse). Pour éviter le cas par cas, seuls certains paramètres généraux comme la largeur du barrage, la hauteur de chute, la hauteur de retenue, ... sont pris en compte, et non des paramètres particuliers comme le type de l'ancien barrage, les possibilités d'accès, la précision de l'exploitation, Les possibilités de l'outil créé permettent cependant d'adapter précisément ces paramètres généraux au cas étudié.

L'outil qui a été présenté dans cet article n'a donc pas pour objectif de fournir une solution technique détaillée pour une configuration donnée, mais de proposer aux concepteurs des outils d'évaluation technique et financière leur permettant de comparer plusieurs principes constructifs (types de bouchures, nombres de passes, standardisation, ...). D'utilisation aisée et rapide (la procédure entière ne dure environ qu'une demi-heure), ESQUIVANNE permet au maître d'œuvre de réaliser rapidement un prédimensionnement d'une configuration donnée à partir de plusieurs concepts types, de comparer rapidement différentes solutions (type de bouchures, nombre de passes, possibilité de standardisation et de préfabrication...) et d'aider ainsi dans le choix du type de barrage. Cet outil pourra également être utilisé par le maître d'ouvrage afin de contrôler la cohérence des coûts annoncés et d'effectuer une évaluation économique et ainsi optimiser le programme des travaux futurs. Des perspectives de travaux futurs sont prévues en vue d'améliorer le logiciel EsquiVanne.

RÉFÉRENCES

- INCOM WG26 Report (2006), "Design of Movable Weirs and Storm Surge Barriers", Report of the INCOM-WG26 , <http://www.pianc-aipcn.org> , Publ. PIANC, Brussels, January 2006, 124p (et CD-Rom)
- Les barrages mobiles de navigation, Guide du chef de projet, Voies Navigables de France sous la direction du Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales



ANNEXE- English Presentation (Powerpoint) : DESIGN TOOL FOR NAVIGATION WEIRS

Présentation de l'outil de conception des barrages mobiles de navigation (31st PIANC CONGRESS, 14-18 May 2006)

ANAST **EsquiVanne** **VNF**

- ➔ Outil de conception des barrages mobiles de navigation.
- ➔ Design tool for Navigation Weirs

Rigo Ph., Lizin S, Beaujean, Closset (Univ. Liege)
Chapital L. (VNF) and Pollgot-Pitsch S. (CETMEF)

31st PIANC Congress Estoril, May 2006 Portugal **CETMEF**

ANAST **EsquiVanne**

- Purposes
- History
- Concept
- Description of EsquiVanne
- Conclusions

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **EsquiVanne** **PURPOSES**

- Fast design of movable weirs (dimensionnement)
- Preliminary design stage (Esquisse)
- For Public Authorities (Maître d'Ouvrage, VNF, MET, ...)
- Global cost estimation
- Comparison of several scenarios (types of gates, number of bays, ...)
- Free and evolutionary software

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **EsquiVanne** **PURPOSES**

- Types of studied gates:
 - Inflatable gates (air or water)
 - Flap gates
 - Obermeyer gates
 - Radial gates
 - Mixed gates

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **EsquiVanne** **HISTORY**

- « Barrages sur étagères »
- « Standard solutions, ready on shell »
- « Esquisse de barrages »
- « Preliminary Design Tool for Weirs »
- ➔ « EsquiVanne »

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **EsquiVanne** **Concept (1)**

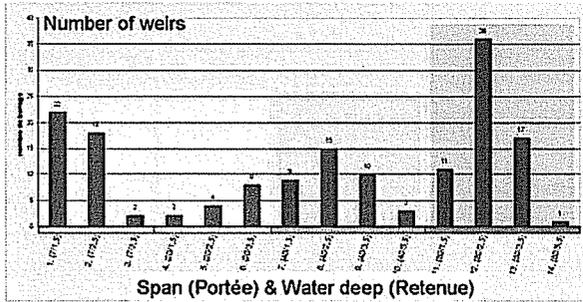
- Situation – Target
 - 140 navigation weirs to replace
- Standard Solutions
 - Estimation of the dimensions and the global cost
 - To reduce the costs of construction and to improve the reliability
 - Concept design - Esquisse

In France

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **Esquivanne** Concept (2)

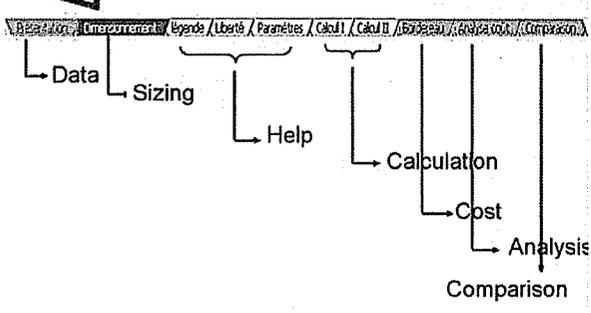
- Definition of typical navigation barrages



ANAST • Summary table Concept (3)

Catégorie	Portée (m)	Retenue (m)	Nombre
1	7 m	1,5	22
2	0-12,5 m [2,5	18
3		3,5	2
4	20 m	1,5	2
5	13,5-30 m [2,5	4
6		3,5	8
7		1,5	9
8	40 m	2,5	15
9	30-60 m [3,5	10
10		5,5	3
11		1,5	11
12	80 m	2,5	36
13	80-120 m [3,5	17
14		5,5	1

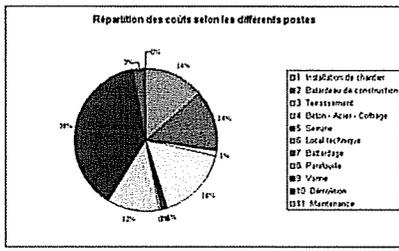
ANAST **Esquivanne** Procedure



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **Esquivanne** Comparison

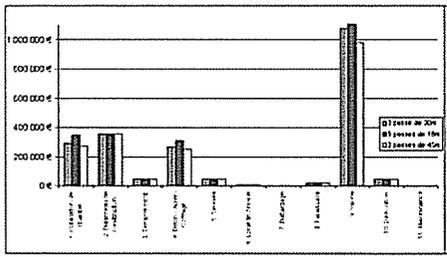
- Cost analysis



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **Esquivanne** Comparison

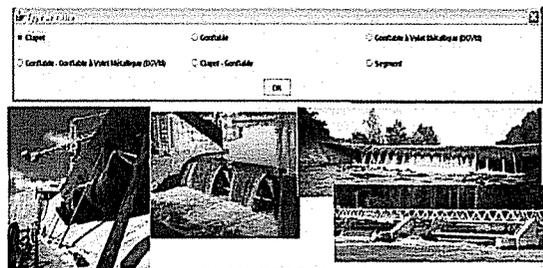
- Comparison



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST **EsquiVanne** (1)

- Type of gates



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006



EsquiVanne (2): Basic Parameters

Menu: Structure, Configuration, Details

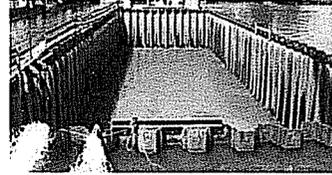
Parameters: Hauteur de retenue (m): 3.75, Longueur d'éversure (m): 74.25, Hauteur de chute (m): 2.61, Hauteur aval (m):

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006



EsquiVanne (3): Construction mode

Parameters: Par. altitude, Par. altitude aval, Profondeur pile: 5.21, Epaisseur crêt: 1.00, Par. altitude aval, Profondeur pile: 5.21, Epaisseur crêt: 1.00



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006



EsquiVanne (4): Structure

Parameters: Acier pour béton, Quantité d'acier (kg/m³): 115

Installation du charnier, Bâtiment de construction, Tentes serrées, Béton / ACIER / Coffrage, Serrurerie, Local technique, Bâtiment de maintenance, Portes ouvertes, Vêres

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006



EsquiVanne (5)

• Basic Structural Parameters

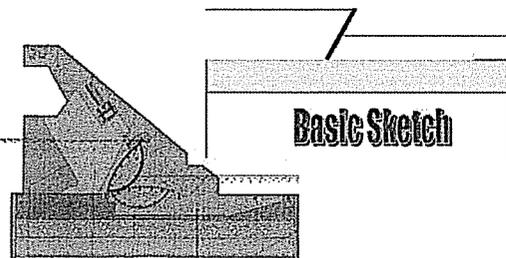
Parameters: Piles, Longueur (m): 13.25, Valeur proposée: 6.6, Hauteur (m):

Proposed value for the width of the floor → 6.6 m

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006



EsquiVanne (6): Design



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006



EsquiVanne (7): Stresses

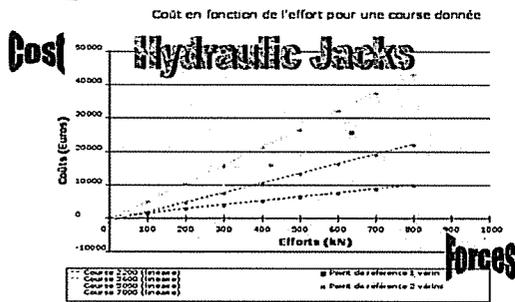
Parameters: Génie civil, Electromécanique, Efforts

Weights: Poids propre: 31.1, Poids total bas structure: 47.9, Poids total charpente: 5902.9, 1 pile: 127.5, 1 culétre: 78.0, 1 radier: 937.5, Pression d'eau: P1AK: 37.5, P1AC: 70.3, P1BC: 17.4, P1DC: 15.1

Uplift Pressure

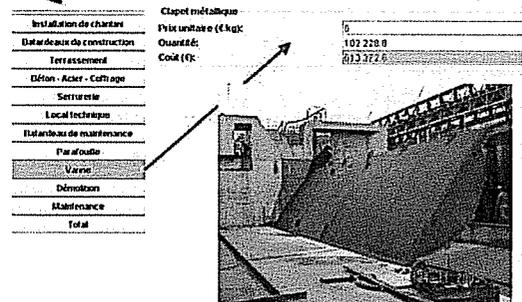
31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-19 May 2006

ANAST EsquiVanne (8): Manoeuvre



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST EsquiVanne (9): costs

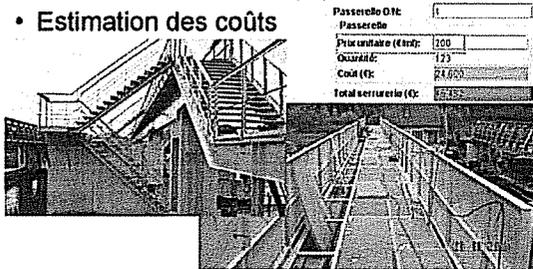


31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST EsquiVanne (10): Equipment

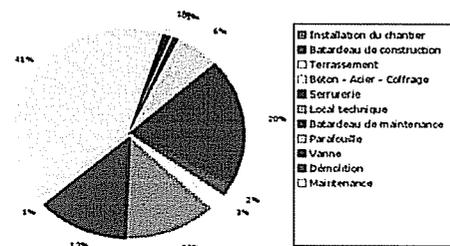
- Cost assessment of equipments

- Estimation des coûts



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST EsquiVanne (11): analysis



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST EsquiVanne (12): comparison

- 3 fairways
- 3 Passes



- 4 fairways
- 4 Passes



31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006

ANAST EsquiVanne - Conclusions

- Preliminary design tool
- Dedicated to Public Authorities
- Cost Assessment
- Easy comparison of alternatives
- Friendly software
- High flexibility

VNF

GETMEF

31st PIANC CONGRESS, Estoril, 14-18 May 2006