

LA CONCEPTION DE LA NOUVELLE PORTE AMONT DES ECLUSES DU CANAL SEINE-NORD EUROPE

The design of the new upper head lock gates of the Seine-Nord Europe Canal

Hendrik BLONTRUCK, Joris MEERSSCHAERT
SBE nv, Slachthuisstraat 71, 7100 Sint-Niklaas, Belgique
hendrik.blontruck@sbe.be ; joris.meersschaert@sbe.be

Rémy CROIX
EGIS sa, 15 Rue du centre, 78286 Saint-Quentin-en-Yvelines, France
remy.croix@egis-group.com

MOTS CLEFS

Canal Seine-Nord Europe, Porte Secteur levante à axe horizontal

KEY WORDS

Canal Seine-Nord Europe, Lifting sector gate with horizontal axis of rotation

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la construction du nouveau Canal Seine-Nord Europe (CSNE), une nouvelle typologie est proposée pour les portes amont des 5 nouvelles écluses situées le long du Canal.

La nouvelle typologie est une porte secteur, pivotante à axe horizontal et levante, avec deux bras reliant le bordé de la porte au centre de rotation de celle-ci situé vers le bief amont de l'écluse. Cette nouvelle typologie de la porte a été choisie sur base d'une analyse multicritères pour répondre au mieux aux contraintes du programme général du maître de l'ouvrage, SCSNE. Les contraintes principales du programme est une disponibilité pour l'ensemble du système écluse de 99.9%, une fermeture gravitaire en charge de la porte et la possibilité d'intégrer une poutre pare-chocs la protégeant des collisions de bateaux.

La conception de la nouvelle porte amont répond à ces contraintes. Premièrement, le mécanisme de manœuvre comprend deux vérins hydrauliques (un sur chaque bras de la porte), en revanche, la conception de la porte permet un fonctionnement en mode normal d'opération avec un seul vérin. Deuxièmement, la solution de la porte levante rend possible une fermeture gravitaire en charge et sans apport d'énergie externe. Et finalement, l'intégration de la poutre pare-chocs directement entre les deux bras de la porte amont ne nécessite pas de mécanisme de manœuvre propre à la poutre pare-chocs. Le mécanisme de manœuvre de la porte est donc utilisé indirectement pour l'actionnement de la poutre pare-chocs. Ceci n'influence donc pas le taux de disponibilité de la porte amont ni la durée du cycle de sassement.

L'article expose l'analyse multicritère qui a permis d'aboutir au choix de la typologie retenue pour la porte amont et poursuit ensuite avec une description technique de ses éléments constitutifs. Cette description reprend la charpente métallique de la porte, les joints d'étanchéité, les appuis, la rotule principale, le système de verrouillage et le mécanisme de manœuvre complet.

ABSTRACT

In the framework of the construction of the new Seine-Nord Europe Canal, a new typology is proposed for the lock gates of the upper lock head of the 5 new locks to be constructed.

The new typology is a lifting sector gate with horizontal axis of rotation, with two arms aligned towards the upstream canal section of the lock. The new typology of the lock gate is based on a multi-criteria analysis to fit as good as possible within the set of requirements specified by the client SCSNE. The following requirements for the new lock gate were specified by the client: an availability for the complete lock of 99.9%, a possibility of gravitational closing of the lock gate in the presence of a water head on the gate and the possibility of the integration of a protection system against ship collision on the lock gate.

The new lock gate fulfils these requirements as follows: the driving mechanism of the lock gate consists of two hydraulic jacks (one on each arm of the lock gate), but with the possibility of operation of the lock gate with only one hydraulic jack. The lifting gate allows gravitational closing even in the case of loss of the external power supply. The integration of the collision-bumper, directly on the two arms of the lock gate, makes it possible to use the driving mechanism of the lock gate as sell for actioning the collision-bumper. This configuration does hardly affect the availability of the gate neither the transit time of the lock.

The article explains the multi-criteria analysis that defined the choice of the new upper head lock gate and continues with a technical description of the components of the lock gate: the steel frame of the lock gate, the sealing system, supports, the axes of rotation, the locking system of lock gate in opened position and the driving mechanism of the lock gate.

1. INTRODUCTION

Le Canal Seine-Nord Europe, grand projet d'aménagement du territoire, va relier Compiègne, dans l'Oise, à Aubencheul-au-Bac, dans le Nord, d'ici 2030. Ce canal à grand gabarit de 107 kilomètres de long et de 54 mètres de large est un maillon essentiel de la liaison fluviale Seine-Escaut (figure 1), qui connectera le réseau français aux 20 000 km de voies européennes. Il permettra ainsi le développement du fluvial, solution écologique de transport de marchandises, et facteur de compétitivité des productions et d'attractivité des territoires. Ce grand chantier est un investissement de plus de 5 milliards d'euros financé par l'Union européenne, la France et les Collectivités territoriales qui pilotent la Société du Canal Seine-Nord Europe (SCSNE), établissement public qui en assure la maîtrise d'ouvrage.



Figure 1 : Tracé du futur Canal Seine-Nord Europe [www.hautsdefrance.fr]

Le canal seine Nord Europe comprend 7 biefs délimités par 6 écluses et une écluse de jonction avec le canal du Nord. Le bief de partage est alimenté par un bassin réservoir (bassin de Louette) dont le volume de 14.000.000 m³ est reconstitué par pompage. Les six écluses sur le nouveau canal avec leur hauteur de chute sont les suivantes (figure 2) : écluse de Montmacq (hauteur de chute 6.41m), écluse de Noyon (hauteur de chute 21.07m), écluse de Catigny (hauteur de chute 14.00m), écluse d'Allaines (hauteur de chute 13.10m), écluse de Marquion (hauteur de chute 25.71m) et l'écluse d'Oisy-le-Verger (hauteur de chute 25.00m). La hauteur de chute de l'écluse de jonction au Canal du Nord existant est de 11.27m.

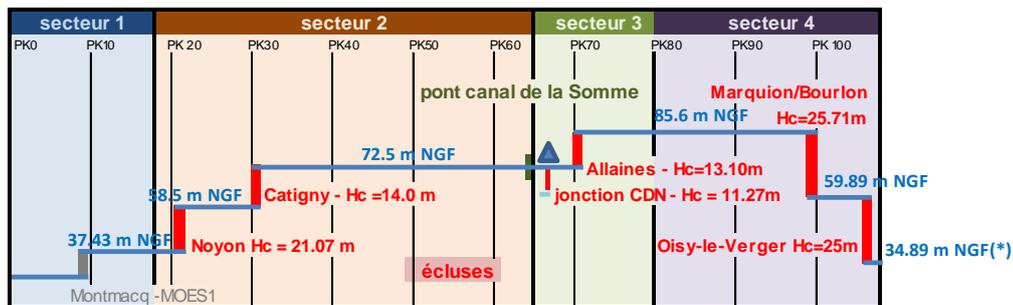


Figure 2 – Schéma du profil longitudinal du Canal Seine Nord-Europe

Les portes des différentes écluses du futur Canal Seine Nord Europe seront identiques et interchangeables, à l'exception de l'écluse de Montmacq dû à sa faible chute. Les cinq écluses CSNE (Noyon, Catigny, Allaines, Marquion et Oisy-le-Verger) seront équipées d'une porte aval levante verticale et d'une porte amont secteur levante à axe horizontal.

Le présent article décrit le processus de conception de la porte amont pour les écluses du futur canal Seine-Nord Europe.

2. EXIGENCES DU PROGRAMME GENERAL CSNE

2.1. Exigences en mode d'opération normal

Le programme général du client SCSNE [1] autorisait les types de porte suivants pour la porte amont : les portes busquées et la porte secteur abaissante à axe horizontal.

La disponibilité exigée pour chaque écluse est de 99.9%. Cette valeur très élevée est nécessaire pour obtenir une disponibilité globale du canal de 99%.

2.2. Exigences en cas accidentel

En cas accidentel, une descente gravitaire en charge de la porte amont doit être rendue possible sans apport d'énergie externe (en cas de coupure d'alimentation électrique du réseau et en cas de défaillance du groupe électrogène).

En ce qui concerne les chocs de bateaux sur la porte, l'intégration d'un système de protection de la porte amont était requise afin de réduire les risques liés à la collision de la porte amont par un bateau ou convoi avalant.

2.3. Discussion concernant les exigences du programme général du CSNE

Les portes autorisées par le Maître d’Ouvrage dans le programme général ne répondaient pas complètement aux exigences précitées du programme :

- Il est très difficile de concevoir les portes busquées pour une disponibilité très élevée. Les deux vantaux des portes busquées restent dans leur fonctionnement deux éléments indépendants, y compris du point de vue de leur mécanisme de manœuvre. Ceci rend donc compliqué la mutualisation des mécanismes des deux vantaux afin d’augmenter la disponibilité. La défaillance d’un seul des deux vantaux met l’écluse hors service. Concernant le comportement des portes busquées au choc de bateaux, elles réagissent comme un système statique très rigide ne permettant que peu de dissipation d’énergie par déformation des vantaux lors d’une collision symétrique. En revanche, pour des collisions asymétriques avec des bateaux plus petits et décentrés dans l’écluse, un système de verrouillage entre les deux vantaux est requis pour que l’ensemble des deux vantaux puisse résister au choc de bateaux. Finalement, la solution de la porte busquée est sans doute la moins bonne pour permettre une fermeture sans énergie et en charge.
- La porte secteur à axe horizontal abaissante s’avère être un meilleur choix, par rapport à la porte busquée, pour obtenir une disponibilité élevée. Un dédoublement et donc une redondance du mécanisme de manœuvre est possible permettant de garder l’écluse en fonctionnement même en cas de défaillance d’une partie du mécanisme. Cependant, la fermeture gravitaire en charge d’une telle porte est compliquée vu que le bordé de la porte s’efface dans le génie civil en position ouverte, ceci nécessiterait donc des contrepoids beaucoup trop imposants. La charpente métallique de la porte, étant monolithique, rend le système plus approprié pour la reprise des effets dus à un choc de bateaux.

Concernant les aspects d’inspection et de maintenance des portes, il est constaté que les deux types de portes autorisés contiennent des éléments qui se trouvent, en opération normale, constamment sous eau. Pour les portes busquées, il s’agit de la crapaudine et des heurtoirs des vantaux ; pour la porte secteur à axe horizontal abaissante, les joints d’étanchéité restent sous eau et le risque d’endommagement du joint augmente.

Une inspection détaillée des éléments sous eau (inspection plus détaillée que par plongeurs) ou un remplacement de ces éléments est seulement possible avec une mise à sec de la tête amont de l’écluse. Une telle opération nécessite la mobilisation d’une grue mobile pour la pose d’un jeu de batardeaux, suivi par une mise à sec de la zone entre la porte et le batardeau. Eviter cette mise à sec peut s’avérer être un avantage important lors des phases de maintenance de la porte amont.

3. CONCEPTION DES NOUVELLES PORTES AMONT

Compte tenu des observations reprises ci-dessus concernant les types de porte amont autorisés, il est constaté que la porte secteur **abaissante** à axe horizontal est le choix le plus adapté pour répondre aux exigences du programme général. Néanmoins, afin de s’inscrire complètement dans l’ensemble des exigences, une solution de porte secteur à axe horizontal **levante** a été proposée.

La porte secteur levante à axe horizontal est constituée des éléments suivants (figures 3 et 4) :

- Une charpente métallique avec une poutre « caisson – secteur » avec deux bras vers les rotules principales de la porte (axe de rotation) ;

- Un chemin de service est installé sur la partie « secteur », reliant (en position fermée de la porte) les deux rives pour le passage du personnel ;
- Une poutre pare-chocs qui reste indépendante de la charpente de la porte en position fermée pour la reprise des effets de choc des bateaux avalant. La poutre pare-chocs ne dispose pas de mécanisme de manœuvre indépendant, mais la poutre pare-chocs, en suivant le mouvement des deux bras de la porte, est mise en place dans le génie civil lors de la fermeture de la porte et embarquée par les bras de la porte lors de son ouverture ;
- Le mécanisme de manœuvre de la porte amont est constitué de deux vérins hydrauliques. Chaque vérin hydraulique est attaché à un des bras de la porte. Les vérins sont installés dans une position plus ou moins horizontale ;
- Pour sécuriser la porte en position ouverte lors du passage des bateaux sous la porte, un système de verrouillage est installé sur les deux bras.

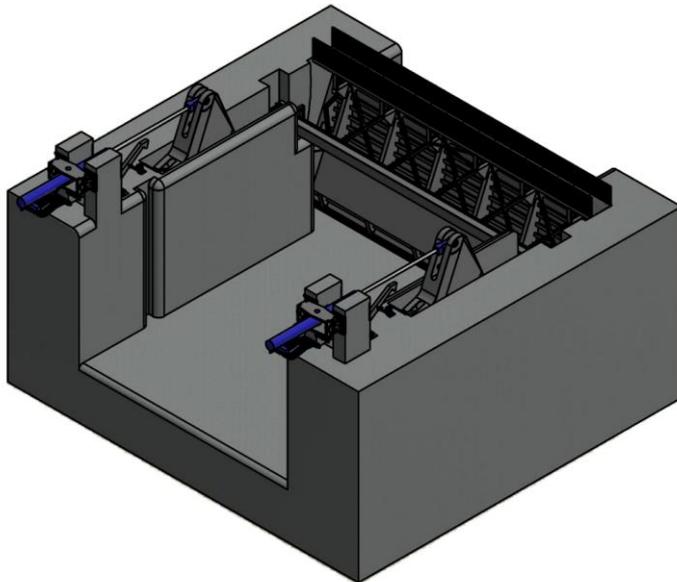


Figure 3 – Vue 3D depuis le bief amont : Porte amont CSNE en position fermée

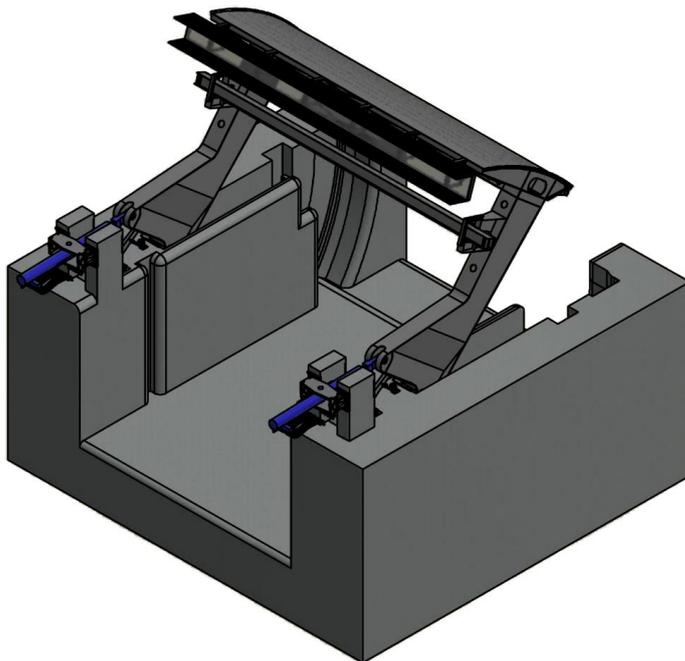


Figure 4 – Vue 3D depuis le bief amont : Porte amont CSNE en position ouverte

La nouvelle porte CSNE répond au maximum aux exigences du client :

- Disponibilité élevée de la porte amont : En mode normal d'opération, la porte est actionnée à l'aide des deux vérins. Cependant, un actionnement à l'aide d'un seul vérin est également possible (en mettant l'autre vérin en by-pass ou après son retrait pour réparation, maintenance,...). Chaque vérin est alimenté par un groupe hydraulique avec trois pompes hydrauliques (dont seulement deux pompes sont nécessaires en mode normal d'opération) et les groupes des deux vérins peuvent être mutualisés. Cette configuration garantit une redondance complète pour l'actionnement de la porte et amène donc à une disponibilité importante.
- Le fonctionnement de la poutre pare-chocs dans la position fermée de la porte est complètement indépendant de la porte elle-même. La poutre pare-chocs est supportée directement sur le génie civil. En cas de choc de bateaux, les effets de la collision seront repris par deux appuis à balanciers, intégrés dans le génie civil. La poutre pare-chocs est capable de dissiper une énergie d'au moins 1MJ et peut se déformer d'au moins 1m avant d'entrer en conflit avec la charpente de la porte. Le but de cette configuration est de n'avoir qu'à remplacer la poutre pare-chocs en cas de collision mineure sur la poutre. L'intégration de la poutre pare-chocs n'impacte que peu la disponibilité de la porte amont, du fait de l'absence d'un mécanisme de manœuvre qui lui est dédié. Dans la configuration proposée, le mécanisme de manœuvre de la porte actionne en même temps la porte et la poutre pare-chocs, sans impacter la durée du cycle de sassement. Cette configuration est seulement possible avec une orientation des bras de la porte amont vers l'amont. Les deux bras de la porte embarquent la poutre pare-chocs lors de la manœuvre de la porte.
- Avec la porte en position ouverte, tous les éléments de la porte pouvant nécessiter une inspection ou une opération de maintenance, sont accessibles sans besoin d'une mise à sec de la tête amont. Il s'agit des joints d'étanchéité, des mécanismes de manœuvre, des mécanismes de verrouillage et des rotules de la porte.

4. ANALYSE MULTICRITERE DU TYPE DE PORTE AMONT

Le choix du type de porte a fait l'objet d'une analyse multicritère, dans laquelle une comparaison entre les trois types suivants a été réalisée : portes busquées, porte secteur abaissante à axe horizontal et porte secteur levante à axe horizontal. Les différents critères considérés pour cette analyse sont les suivants :

- Critère fiabilité / disponibilité (facteur de pondération 5)
- Critère possibilité de fermeture gravitaire sous charge (facteur de pondération 3)
- Critère joints d'étanchéité (facteur de pondération 3)
- Critère nombre d'éléments mécaniques (facteur de pondération 3)
- Critère Robustesse (facteur de pondération 3)
- Critère Coût de la charpente métallique (facteur de pondération 2)
- Critère Coût du mécanisme de manœuvre (facteur de pondération 2)
- Critère Inspectabilité (facteur de pondération 4)
- Critère Maintenabilité (facteur de pondération 4)
- Critère Intégration architecturale (facteur de pondération 2)

Pour chaque critère listé ci-dessus, une pondération est appliquée en fonction de l'importance et la pertinence du critère. Ensuite, pour chaque critère et chaque type de porte, un score est donné à la solution au regard du critère analysé. Les scores suivants sont attribués :

- Le type de porte ne répond absolument pas au critère :
Score → -2
- Le type de porte ne répond que partiellement au critère :
Score → -1
- Le type de porte répond de façon neutre au critère :
Score → 0
- Le type de porte est satisfaisant par rapport aux exigences du critère :
Score → +1
- Le type de porte répond parfaitement aux exigences du critère :
Score → +2

Le score global de la solution est obtenu en multipliant pour chaque critère, le facteur de pondération du critère par le score obtenu pour le type de porte analysé et ensuite en additionnant ces scores. La solution ayant obtenu le score le plus grand est donc potentiellement la solution la plus adaptée.

Les scores globaux des différents types de porte amont donnent le classement suivant (Tableau 1) :

- Porte secteur levante est le type de porte le plus favorable au regard des critères retenus ;
- Porte secteur abaissante arrive en deuxième position ;
- Porte busquée a un score assez bas, rendant ce type de porte peu adapté aux futures écluses du nouveau Canal Seine-Nord Europe.

Critère	Facteur d'importance	Portes Busquées	Porte secteur à axe horizontal abaissante	Porte secteur à axe horizontal levante
Fiabilité / Disponibilité	5	0	2	2
Possibilité de fermeture gravitaire sous charge	3	-2	-1	2
Joint d'étanchéité	3	0	1	1
Nombre d'éléments mécaniques	3	0	1	1
Robustesse	3	0	1	1
Coût - Charpente Métallique	2	1	1	0
Coût - Vérin + Equipment Hydraulique	2	1	0	-1
Inspection	4	0	1	2
Maintenabilité	4	-1	0	1
Intégration architecturale	2	1	0	-1
Score Total		-4	22	33

Tableau 1 : Tableau de synthèse Analyse multicritère Porte Amont CSNE

5. DESCRIPTION DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA PORTE AMONT SECTEUR LEVANTE

5.1. Charpente métallique

La charpente métallique de la porte amont est constituée d'une poutre en forme de caisson sur laquelle est intégrée le bordé (secteur), deux bras à chaque extrémité de cette poutre caisson et des rotules aux axes de rotations aux extrémités des deux bras. Des oreilles de levage sont prévues sur la charpente pour le montage/démontage de la porte. La nuance d'acier pour la charpente de la porte amont est S355. Le poids total de la charpente métallique de la porte amont (passerelle de service inclus) est d'environ 72 tonnes.

Une passerelle de service démontable est installée sur la porte pour créer un passage entre les deux rives de l'écluse lorsque la porte est dans la position fermée. Le montage/démontage de la porte est réalisé sans passerelle.

La poutre pare-chocs est un élément en forme de poutre-caisson. Pour optimiser la dissipation d'énergie en cas de choc de bateaux et pour optimiser le poids de cette poutre, cet élément sera construit en nuance d'acier S690. Le poids total de la poutre pare-chocs est d'environ 5 tonnes. Des supports pour la poutre pare-chocs pendant l'actionnement de la porte sont intégrés sur les deux bras de la porte.

Les deux bras de la porte amont sont conçus avec une forme adaptée au niveau des deux rotules afin d'intégrer directement dans la charpente métallique un point d'attache pour le vérin hydraulique du mécanisme de manœuvre et un axe pour le mécanisme de verrouillage.

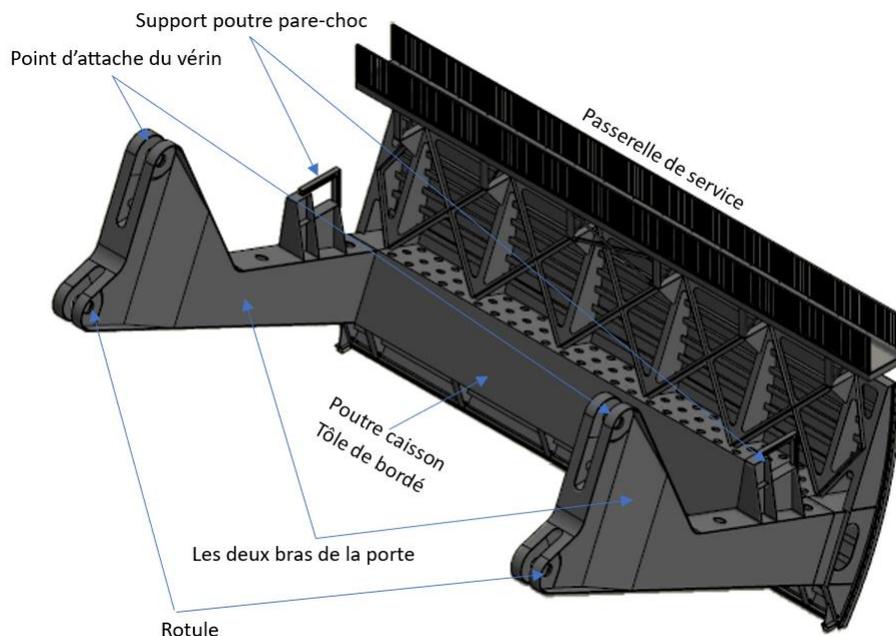


Figure 5 – Isométrie de la charpente métallique de la porte amont CSNE

5.2. Les joints d'étanchéité

Les joints d'étanchéité de la porte amont CSNE sont les suivants :

- Pour le joint de seuil de la porte, un joint en caoutchouc compressible en forme de D (creux) est prévu (figure 6). Afin d'éviter que le joint soit écrasé par la porte en position fermée, on prévoit deux appuis aux extrémités de la porte, qui limitent la compression maximale du joint. Ce joint va s'appuyer contre une tôle en acier inoxydable à encastrer dans le génie civil. Une configuration d'un seuil complètement lisse est proposée afin d'éliminer tout risque d'embâcles sur le seuil empêchant la fermeture complète de la porte.

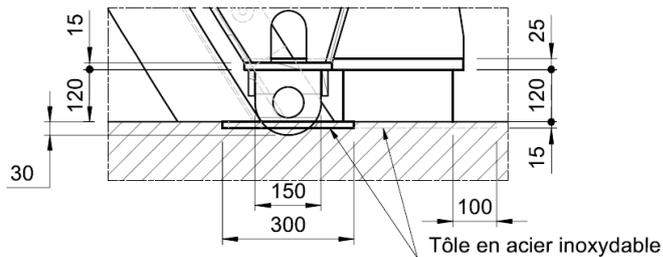


Figure 6 – Détail du joint d'étanchéité du bord inférieur de la porte amont (coupe verticale)

- Pour l'étanchéité latérale de la porte amont, un joint auto-activé (par la chute d'eau) sera installé (figure 7). Ces joints vont faire contact avec une tôle en acier inoxydable scellée dans la partie secteur du génie civil. La configuration des joints latéraux ne nécessite pas de guidage latéral de la porte pendant l'actionnement vu le large battement du joint permis par la largeur de la tôle en acier inoxydable. Ce type d'étanchéité supporte aussi un déplacement latéral dû aux efforts de vent ou à l'actionnement avec un seul vérin (torsion de la structure). Si les bras de la porte étaient orientés vers l'aval (le sas), les joints devraient donc prendre appui sur une face perpendiculaire par rapport à la figure 7. Ceci entraînerait donc la nécessité d'un guidage latéral de la porte afin que les joints restent en contact avec le génie civil et que la structure métallique de la porte ne vienne pas en conflit avec le génie civil. De plus, l'intégration de la poutre pare-chocs est plus simple avec les bras orientés vers l'amont.

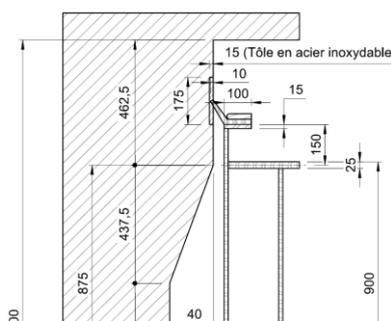


Figure 7 – Détail du joint d'étanchéité des bords latéraux de la porte amont (coupe horizontale)

5.3. Les rotules

La porte amont est supportée et articulée à l'extrémité de chaque bras par une rotule (figure 8). Suite au choix de la rigidité des deux bras de la porte, les deux rotules seront fixes dans la direction rive à rive et doivent donc reprendre les effets transversaux lors de l'application de la charge hydrostatique sur la porte (effet portique).

Les rotules ont les caractéristiques suivantes : rotule radiale pour le support des charges radiales et axiales avec un surface de glissement entre acier inoxydable et un tissu de fibres PTFE. Les rotules ne nécessitent pas de maintenance particulière ou de graissage régulier. Un joint frottant à double lèvre est prévu pour la protection des surfaces glissantes de la rotule.

La rotule est installée dans une chape. La chape est fixée directement sur le génie civil. L'ancrage de la chape sur le génie civil est démontable et réglable dans les trois directions afin de pouvoir compenser les tolérances d'exécution de la charpente métallique de la porte amont elle-même et les tolérances d'exécution du génie civil lors du montage.

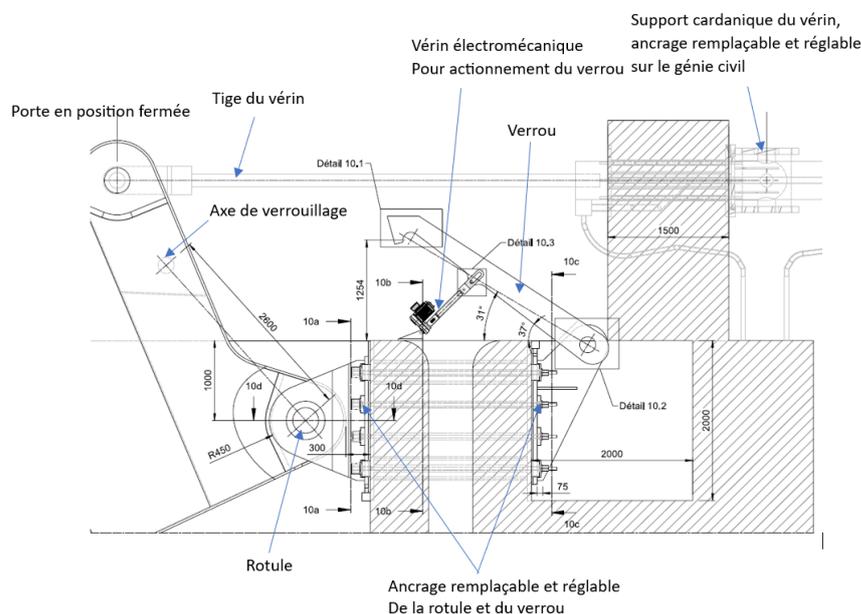


Figure 8 – Rotule, mécanisme de manœuvre et mécanisme de verrouillage de la porte amont

5.4. Le mécanisme de manœuvre

En mode normal d'opération, la porte sera actionnée à l'aide de deux vérins oléo-hydrauliques. En mode dégradé d'opération, la porte peut être actionnée à l'aide d'un seul vérin (avec l'autre vérin mis en by-pass ou retiré pour cause d'avarie ou de maintenance).

Les vérins oléo-hydrauliques ont les caractéristiques suivantes :

- Capacité en traction du vérin 2500kN
- Course totale du vérin 4725mm
- Temps d'ouverture de la porte amont 90s

Les vérins sont installés plus ou moins dans une position horizontale et sont supportés par un cardan (voir figure 8 ci-dessus). L'ancrage du cardan dans le génie civil est réalisé de telle façon que son réglage soit rendu possible lors de l'installation du mécanisme de manœuvre de la porte. L'ancrage du cardan est un élément qui reste remplaçable sans travaux de démolition du génie civil.

5.5. Le mécanisme de verrouillage

Pour sécuriser la porte en position ouverte pendant le passage des bateaux, un verrouillage mécanique est exigé dans le programme général. Le système de verrouillage de la porte amont (figure 8) se compose d'un axe de verrouillage intégré dans les deux bras de la porte. Ces axes sont positionnés un peu plus bas que le point de fixation de la tige du vérin. L'articulation du verrou est intégrée sur le système d'ancrage arrière de la rotule, et permet un réglage du système de verrouillage dans les trois directions lors du montage de la porte.

L'actionnement du verrou se fait à l'aide d'un petit vérin électromécanique. Le verrouillage doit être actif et sécurisé à chaque ouverture de la porte, avant la mise au vert des feux de navigation.

6. CONCLUSION

La nouvelle porte amont des écluses du Canal Seine-Nord Europe est une porte secteur levante à axe horizontal. Elle répond largement aux exigences du programme général, notamment la disponibilité élevée de l'écluse. La fermeture gravitaire en charge de la porte est rendue possible. La nouvelle conception de la porte permet l'intégration d'une poutre pare-chocs sans influence significative sur la disponibilité de la porte ou sur la durée du cycle de sasement. La maintenance ou l'inspection de la porte amont ne nécessite pas la mise à sec de la tête amont, en effet, la porte amont en position ouverte permet la mise à sec de tous les éléments à maintenir et/ou à inspecter.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] SETE-M001-T-A-CSNE-GEN-0000-PROG-00001 Programme du Canal Seine-Nord Europe Livre I – Programme Général