

4/6/08

## CANAL SEINE NORD EUROPE - COMPARAISON DE DEUX CONCEPTS D'ÉCLUSE A BASSINS D'ÉPARGNE ET OPTIMISATION DE LA STRUCTURE DU SAS

### Auteurs :

GRAILLE Philippe, responsable du pôle Ouvrages Génie Civil  
Souterrains et Portuaires, ARCADIS, 18 rue Troyon - 92310  
SEVRES ☎ 01.46.23.77.77 FAX 01.46.01.35.80,  
✉ : [peraille@arcadis-fr.com](mailto:peraille@arcadis-fr.com)

DALY Fabrice, chef de division ouvrages fluviaux et de navigation  
intérieur , ports maritimes et votes navigables, Centre d'études  
maritimes et fluviales, 2 Bld Gambetta - BP60039 60321  
COMPIEGNE CEDEX, ☎ 03.44.92.60.09,  
✉ [fabrice.daly@developpement-durable.gouv.fr](mailto:fabrice.daly@developpement-durable.gouv.fr)

MAILLET Jean-Noël, ingénieur hydraulique, EDF-CIH 37 rue  
Diderot BP 176 - 38042 GRENOBLE CEDEX 9, ☎ 04.76.20.92.76,

✉ [jean-noel.maiilet@edf.fr](mailto:jean-noel.maiilet@edf.fr)

*Ingenieur, ancien de l'ex - ARAS*  
RIGO Philippe, Ingénieur Civil, ANASTULG, 1 Chemin des  
chevreuils, Bât. B52/3 - B4000 LIEGE, ☎ 32 4 366 96 29,  
FAX 32 4 366 91 33 ✉ [ph.rigo@ulg.ac.be](mailto:ph.rigo@ulg.ac.be)

### Résumé :

Le système d'alimentation en eau du canal Seine Nord Europe économisera la ressource naturelle en limitant les prélèvements au strict minimum, c'est-à-dire aux seules pertes par évaporation et par infiltration résiduelle au travers d'un dispositif d'étanchéité qui vise des performances maximales. Aussi, convient-il que le fonctionnement des écluses soit neutre du point de vue de la consommation d'eau du canal, ce qui nécessite un recyclage intégral du volume d'eau du sas vidangé à chaque bassinée.

Récupérer une partie de ce volume de manière gravitaire, dans différents bassins judicieusement disposés, permet de limiter les volumes d'eau à relever dans le bief amont par pompage. C'est le concept d'écluse à bassins d'épargne. Les gains obtenus s'apprécient alors en termes de réduction de la consommation électrique de pompage mais également en termes des conditions de fonctionnement hydraulique avec une réduction des charges hydrostatiques, particulièrement avantageuse pour les grandes hauteurs de chute, et de la durée de l'opération de sasement. Ces gains sont au prix d'un accroissement de la complexité du génie civil, des circuits hydrauliques et des équipements hydromécaniques des écluses. Dans le cadre des études d'avant-projet des écluses du Canal Seine Nord Europe, deux concepts d'agencement de ces bassins d'épargne ont été étudiés et comparés (bassins d'épargne séparés ou intégrés) ; le concept retenu comme solution de référence (bassins séparés) a fait l'objet d'une optimisation de sa structure et de ses méthodes de construction.

1

## I INTRODUCTION

### I.1 Les écluses du Canal Seine Nord Europe

Le projet de la liaison Seine nord Europe prévoit, le long de son tracé, 7 écluses à grand gabarit (sas de 195 m de longueur et 12,50 m de largeur). L'optimisation de l'escalier d'eau à franchir conduit à des hauteurs de chute importantes, comprises entre 15 m et 30 m pour 6 d'entre elles. Devant les enjeux en terme d'investissement, de garantie de disponibilité et de performance de ces ouvrages clés, les études d'Avant-Projet se sont attachées à optimiser les concepts hydrauliques, de structures (génie civil et vannellerie) et les méthodes de construction.

### INSERER Figure 1 - Photomontage de l'écluse de 30 m de chute en configuration double

### I.2 Recyclage de l'eau et économie de pompage

Afin de garantir la neutralité du fonctionnement des écluses, aux fuites près, dans le bilan hydraulique d'un système en canal artificiel, il convient de recycler l'eau transférée à l'aval lors de chaque bassinée, par pompage du bief aval dans le bief amont. Récupérer dans des bassins d'épargne (BE) une partie du volume du sas permet à chaque cycle d'éclusage de limiter ce pompage : lors d'une bassinée descendante, une partie de l'eau contenue dans le sas n'est pas « lâchée » par vidange dans le bief aval mais est envoyée gravitairement dans un ou plusieurs bassins attenants à l'écluse. Ce volume d'eau ainsi récupéré est ensuite utilisé, toujours gravitairement, pour remplir partiellement la bassinée suivante montante. Ce dispositif ne nécessite aucun apport d'énergie et permet de notables économies en limitant les pompages aux seuls volumes n'ayant pu être « épargnés ».

Les bassins d'épargne (BE) peuvent être disposés en gradins, d'un côté du sas de manière totalement séparée du sas et de ses têtes. On parle alors d'écluses à bassins d'épargne séparés.

Les bassins d'épargne peuvent également être intégrés à la structure de l'écluse, selon une disposition symétrique de part et d'autre du sas, superposés les uns aux autres pour former un ouvrage unique compact et homogène. On parle alors d'écluses à bassins d'épargne intégrés.

Les figures ci-dessous illustrent ces deux concepts.

### INSERER FIGURE 2 - Ecluse à BE intégrés ET FIGURE 3 - Ecluse à BE séparés

### I.3 Démarche de comparaison

Afin de garantir l'objectivité de la démarche, il convenait de comparer, pour les deux dispositions possibles des bassins d'épargne, leurs versions optimisées en fonction du contexte, notamment hydrogéologique, du canal Seine-Nord Europe.

Ainsi, dans un premier temps, il a été étudié séparément plusieurs solutions envisageables pour chacune des deux dispositions afin de dégager dans les deux cas une version optimisée.

2

Pour la configuration d'écluse où les bassins d'épargne sont séparés de la structure du sas, la recherche de solutions optimisées a porté sur l'agencement général du circuit hydraulique, sur l'équarrissage des principales sections résistantes des structures en béton armé ainsi que sur les méthodes de construction.

Pour la configuration où les bassins d'épargne sont intégrés à la structure du sas, les solutions optimisées de terrassement/soutènement définies dans le cadre de l'étude de la configuration précédente pouvant être reconduites, c'est essentiellement vis-à-vis de l'agencement général du circuit hydraulique qu'ont porté les efforts d'optimisation.

## II COMPARAISON DE QUELQUES FONCTIONS CLES

### II.1 Mode d'introduction de l'eau dans le sas

Deux modes d'introduction de l'eau dans le sas sont apparus en compétition : une introduction latérale par la base des bajoyers ou une introduction par le fond au travers d'un radier perforé.

Dans les deux cas, il est nécessaire d'intercaler en amont une chambre dite de répartition qui constitue le nœud hydraulique par lequel transitent alternativement tous les débits en provenance des prises d'eau du bief amont, du sas ou des bassins d'épargne et en direction des bouches de rejet dans le bief aval et également du sas et des bassins d'épargne. Ces débits arrivent ponctuellement à grande vitesse (4 à 6 m/s) en deux ou quatre points dans la chambre de répartition et doivent être injectés (ou prélevés) dans le sas de la manière la plus régulière possible sur les 200 mètres de la longueur du sas. Toutes variations longitudinales ou transversales des débits injectés ou prélevés se traduisent par une agitation du plan d'eau à l'intérieur du sas.

La ou les chambres de répartition sur la longueur du sas, de par leur grande section, permettent une homogénéisation des débits d'échange.

Le schéma suivant présente les deux concepts envisageables :

### INSERER Figure 4 - Introduction de l'eau dans le sas

#### II.2 Circuits hydrauliques

Nombre et sections des aqueducs : pour garantir les différents échanges nécessaires entre les bassins d'épargne et le sas dans les courtes durées imparties tout en respectant les vitesses admissibles (vitesse moyenne de 4 m/s et vitesse maximale de l'ordre de 6 m/s, pour limiter l'usure, les pertes de charge et l'ampleur des phénomènes transitoires), il est nécessaire de prévoir entre les bassins d'épargne et le sas une section d'aqueduc globale de 37 m<sup>2</sup>. Soit à prévoir entre chacun des bassins d'épargne et le sas, 4 aqueducs de 3 m x 3 m et leurs prises d'eau associées dans les bassins d'épargne. Des solutions avec portions communes d'aqueduc ont été étudiées dans le cas du concept à bassins d'épargne intégrés.

Les principaux équipements prévus pour chaque aqueduc sont une vanne de régulation à double sens d'étanchéité avec un accès aisé au dessus et autour de la vanne, et un batardeau d'isolement entre la vanne et le sas avec un accès au dessus du batardeau à l'« air libre ».

Les conduites de pompage, associées à la station de pompage disposée à l'aval (à proximité de la tête aval de l'écluse), permettent le refoulement des volumes d'eau n'ayant pu être épargnés. Au nombre de deux pour des exigences de fiabilité et de disponibilité lors des opérations de maintenance, ces galeries longitudinales sont implantées comme suit :

- Dans le cas des bassins d'épargne séparés : le long du bajoyer et indépendamment de ce dernier, à proximité du bassin d'épargne supérieur ;
- Dans le cas des bassins d'épargne intégrés : les gros volumes intérieurs disponibles au sein de la structure génie civil permettent d'envisager à moindre coût d'y loger les deux galeries.

#### II.3 Fonctionnement structurel du génie civil

Soit à reprendre les efforts principaux suivants :

- Poussée des terres (fonction de la rigidité de la structure, intérêt des remblais traités au ciment),
- Poussée hydrostatique de la nappe,
- Poussée d'eau intérieure (sas plein / sas vide — charge cyclique).

Les deux concepts ne fonctionnent pas, structurellement parlant, de la même façon :

#### INSERER Figure 5 - Coupes transversales des sas — fonctionnement comparatif

#### INSERER Figure 6 - Vue 3 D partielle de la géométrie d'une des configurations comparée

### III ECLUSE A BE SEPARES — OPTIMISATION DE LA SOLUTION DE REFERENCE

#### III.1 Structure type

Différentes solutions ont été envisagées, que l'on peut distinguer en trois principales catégories :

- Des structures en U ou dérivées : il s'agit de structures autostables isostatiques en béton armé où les deux bajoyers sont encastrés aux deux extrémités du radier. Toute la stabilité de l'ouvrage repose sur cet encastrement. La structure peut être massive en béton ou avec des remblais latéraux traités, à contreforts, en H avec une prolongation des bajoyers en fondation, avec un double-radier structurel...etc.
- Des structures avec des bajoyers soutenus, ancrés par des tirants passifs en tête, ou par des tirants actifs, ou butonnés en tête.

- Des structures avec des bajoyers poids indépendants, en béton faiblement armé ou en béton compacté au rouleau (BCR).

### III.2 Remblais latéraux

Lors de l'analyse comparative des avantages et inconvénients de ces diverses solutions, une structure de sas en U avec remblais latéraux traités au ciment est apparue particulièrement intéressante pour les configurations d'utilisation des écluses du projet. Il s'agit d'une solution intermédiaire :

#### INSERER Figure 7 - Structures de sas

Les structures en béton armé du sas restent structurelles mais ses sections s'en trouvent réduites. Traités au ciment, les remblais latéraux sont peu poussant (cohésion élevée) et très raides (fort module de déformabilité) pour offrir ainsi un potentiel de butée important sous faibles déformations. Cette solution présente les avantages suivants :

- Minimisation des déplacements en tête des bajoyers (en phase construction et en phase d'exploitation à chaque tassement) ;
- Minimisation des moments fléchissants en base des bajoyers permettant de réduire les sections en béton armé évitant ainsi des structures trop massives soulevant des problèmes d'échauffement à la construction ;
- Moments de flexion ne s'inversant pas minimisant ainsi les effets de la fatigue sur les armatures du béton armé ;
- Limitation des tassements des ouvrages adjacents fondés sur les remblais ainsi traités ;
- Coût global optimisé dès lors qu'il est possible de valoriser les matériaux du site.

Parmi les inconvénients, on citera : assez peu de références d'utilisation en grande masse et surtout en grande hauteurs (> 10 m) pour des ouvrages hydrauliques, mais les références sont nombreuses en revanche en techniques routières, comportement à la fatigue et sous charges cycliques moins bien connu que pour les bétons (mais les taux de chargement sont faibles), risque de fissuration imposant des compléments d'étude, contraintes supplémentaires à la mise en œuvre (sensibilité au gel et aux intempéries).

### III.3 Agencement de la chambre des vannes

Les alternatives portaient :

- Sur la disposition en plan des vannes : disposition des 20 vannes en alignement le long du sas entre BE et sas, disposition circulaire sous les BE ou disposition en deux lignes perpendiculaires à l'axe du sas, sous les BE en partie médiane ;

- Sur le positionnement du local de manoeuvre : enterré ou sous la forme d'un bâtiment en tête ;

- Sur la répartition des batardeaux pour l'isolement des vannes.

#### INSERER Figure 8 - Agencement chambre des vannes

Solution de référence retenue :

- Vannes : levantes (à galets ou glissantes)
- Type batardeaux : en puits + plateforme basse
- Type de batar dage : 1 côté + éventuellement obturateur en tête de puits dans le bassin

### IV ECLUSE A BE INTEGRES – OPTIMISATION DE L'AGENCEMENT

#### IV.1 Solutions comparées

Plusieurs solutions d'aménagements ont été envisagées, prédimensionnées et comparées. Les différentes solutions étudiées différaient par :

- Une mise en commun ou non de certaines portions des puits de chute ;
- La présence des puits de chute entre BE et sas ou complètement rejetés à l'extérieur ;
- L'implantation des vannes soit toutes en position basses (au niveau du radier) ou en position dite « haute », calées à des hauteurs différentes au niveau des bassins n-1 ;
- Une introduction de l'eau dans le sas au travers d'un radier perforé ou à la base des bajoyers.

Au total, 7 solutions ont été définies et analysées pour comparer l'ensemble des configurations envisagées. Parmi celles-ci, les deux solutions ci-après sont apparues les plus intéressantes et ont donc été étudiées plus en détail.

#### IV.2 Solution 1 à alimentation par le radier, puits séparés et vannes profondes

INSERER Figure 9 - Sas à bassins d'épargne intégré solution 1 - Coupe type

INSERER Figure 10 - Sas à BE intégrés - solution 1 – Vue en plan ½ côté – niveau BE

INSERER Figure 11 - Sas à BE intégrés – Solution 1 - Vue en plan ½ côté – niveau local de manoeuvre inf.

INSERER Figure 12 - Sas à BE intégrés – Solution 1 – élévation du sas

IV.3 Solution 2 à alimentation par les bajoyers, puits partagés et vannes à niveaux différents

INSERER Figure 13 - Sas à BE intégrés – Solution 2 – Coupe type

INSERER Figure 14 - Sas à BE intégrés – Solution 2 – Coupe longitudinale entre sas et bassins d'épargne

INSERER Figure 15 - Sas à BE intégrés – Solution 2 – Vue en plan ½ côté – niveau inf. et sup.

#### IV.4 Critères de choix de la solution optimisée

Critère géométriques :

Largeur d'emprise totale et entraxe entre sas → critère économique : il convient de minimiser cette largeur, ce qui permet de réduire la largeur des avant-ports, des terrassements et des acquisitions foncières

Hauteur totale → critère économique : il convient également de minimiser autant que possible la profondeur de construction, ce qui facilite la réalisation, et permet de réduire l'influence de la nappe

#### Caractéristiques hydrauliques :

Tranquillité à l'intérieur du sas → critère de sécurité pour les bateaux

Linéaire total d'aqueducs et cumul angulaire des coudes → critère de complexité hydraulique

Linéaire moyen d'aqueducs entre sas et BE → critère conditionnant l'inertie hydraulique du système

Cumul angulaire des coudes entre sas et BE → critère conditionnant les pertes de charge du circuit

Possibilité d'introduire les aqueducs de contournement des têtes en milieu de sas → critère d'efficacité du circuit d'alimentation du sas : possibilité de renforcer encore la tranquillité du sas (par rapport à une introduction en extrémités)

Coûts des structures de génie civil : approchées par le biais des prédimensionnements et métrés effectués

#### Facilités d'accès et de maintenance

#### IV.5 Choix de la solution optimisée

La solution 1 est apparue la plus intéressante car :

- Meilleures possibilités de rapprochement de la 2<sup>ème</sup> écluse,
  - Plus grande simplicité du système hydraulique,
  - Plus faible inertie hydraulique : gain potentiel sur le temps de sassement,
  - Meilleure garantie de tranquillité à l'intérieur du sas, vérifiée sur le modèle physique réalisé (et sans doute améliorée par l'introduction des aqueducs de contournement des têtes en milieu de sas),
  - Coûts non discriminants (écarts < 5% entre les 3 solutions).
- Ceci en dépit des points suivants :
- Contrainte sur choix technologique des vannes, la faible hauteur sous plafond de la chambre des vannes excluant les vannes levantes,
  - Approfondissement de la fouille nécessaire (+2.50 m à 4,00 m),
  - Pas de réel accès routier jusqu'au local de manœuvre inférieur.

#### V BILAN COMPARATIF ENTRE LES DEUX SOLUTIONS OPTIMISEES

Les différences se font essentiellement sur des critères de références d'ouvrages existants, de complexité du génie civil, architecturaux et d'impact visuel, d'emprise au sol. L'intégration des bassins d'épargne aux bajoyers confère, grâce à sa grande compacité, un fonctionnement

hydraulique légèrement plus avantageux. Par contre, la maintenance du génie civil est plus simple avec des bassins d'épargne séparés.

#### Avantages relatifs du système à bassins séparés :

- références nombreuses pour ce système,
- coûts de construction moindres (7 % d'écart sur l'ensemble des 6 écluses du tracé -  $\Delta = 70$  M€),
- volumes béton moins importants pour des hauteurs de chute moyenne,
- structure de sas plus massive, moins ouvragée et donc plus rapide à construire,
- meilleure accessibilité aux vannes (accès routier par rapport à un accès par puits et chambre),
- largeur moindre des avant-ports pour des écluses doubles.

#### Avantage relatifs du système à bassin intégrés :

- tranquillité du sas : léger avantage de par la possibilité d'introduire l'eau des biefs adjacents en milieu de sas *(sollicités -> appuie topog)*
- circuit hydraulique plus simple : sassement potentiellement légèrement plus rapide grâce à des pertes de charges minorées (toutefois, la sensibilité à ce paramètre est faible) mais surtout grâce à une inertie réduite du système hydraulique (longueur réduite des aqueducs) ;
- impact environnemental moindre (pas de bassins apparents) avec une grande compacité. L'intégration et l'agencement des différents organes hydrauliques dans un minimum d'espace restent cependant délicats.

Compte tenu principalement du caractère éprouvé d'une solution comportant de nombreuses références, et du critère économique, c'est le type d'écluse à bassins d'épargne séparés en béton qui est apparu le meilleur compromis lors des études d'APS du canal Seine Nord Europe, et qui a donc été retenu comme solution de référence à ce stade du projet.

#### VI OPTIMISATION DES METHODES DE CONSTRUCTION DE LA SOLUTION D'ECLUSE A BE SEPARES POUR LE CANAL SEINE-NORD EUROPE

##### VI.1 Configurations géotechniques rencontrées

Les méthodes de construction envisageables sont directement liées aux configurations géotechniques et hydro-géologiques rencontrées sur le site des 7 écluses. Les figures suivantes synthétisent ces configurations.

#### INSERER Figure 16 – Configurations géotechniques et hydro-géologiques

On distingue ainsi :

Les écluses de Montmacq et de Noyon, toutes deux en vallée de l'Oise, plus spécifiques en terme de géotechnique, se différencient principalement par :

- Un radier fondé juste au toit de la craie
- Présence de la nappe à un niveau élevé

⇒ Ces deux écluses font donc appel à des méthodes de construction spécifiques

Les cinq autres écluses du canal Seine-Nord Europe sont implantées sur le plateau crayeux avec des configurations géotechniques homogènes, se caractérisant par :

- Un encaissement relativement important dans le massif de craie
- Présence d'une nappe à un niveau bas par rapport à l'ouvrage

⇒ Ces cinq écluses font appel à des méthodes de construction similaires

Les études d'optimisation ont donc porté d'une part sur l'écluse de Noyon, implantée au sein des sables aquifères et d'autre part sur les cinq écluses encaissées dans le massif de craie.

## VI. 2 Méthodes de construction/soutènement

Chaque écluse a fait l'objet d'études de prédimensionnement et d'une estimation des coûts de construction afin de dégager les solutions optimales.

Vis-à-vis des remblais latéraux le long des bajoyers, les deux alternatives « remblais en matériaux traités / remblais en matériaux non traités » ont systématiquement été étudiées afin de vérifier que le surcoût du traitement était largement compensé par l'allègement des sections béton.

Pour les écluses inscrites au sein du massif crayeux, trois familles de solution ont été comparées :

1. Construction en fond d'une grande fouille ouverte talutée puis remblais latéraux ;
2. Construction en fond d'une tranchée soutenue par une paroi clouée d'une hauteur moyenne (13 m environ) selon un parti consistant à limiter les terrassements dans la craie saine pour utiliser au mieux ses caractéristiques en tant que massif encaissant ;
3. Construction en fond d'une tranchée soutenue par une paroi clouée de grande hauteur (24 m environ) selon un parti identique à celui décrit précédemment mais exploité de manière maximale.

Le tableau suivant illustre les deux dernières solutions pour l'écluse de plus grande hauteur de chute (30 m), avec des remblais en craie traitée.

**INSERER TABLEAU N° 1 Solution constructive n° 3 des écluses 2-3-4-5-6/coupe type du sas**

D'un point de vue structurel, pour chacune des écluses du projet, la comparaison effectuée entre les différents modes de constructions présentés ci-avant a permis de dégager les principes constructifs optimisés suivants :

- Pré-terrassement en fouille ouverte sur le tiers ou la moitié supérieure de l'écluse ;
- Réalisation d'une tranchée aux parement sub-verticaux soutenus par une paroi clouée (boulons scellés au coulis, de 10 à 15 m de longueur selon une maille maximale de 2m x 2m- béton projeté avec treillis soudé incorporé) ;
- Radiers et bajoyers coulés contre la paroi clouée ;
- Epaisseurs des radiers et bajoyers optimisée (de 2,2 m à 5,0 m suivant les écluses) avec des ratio de ferrailage raisonnables (85 kg/m<sup>3</sup> à 100 kg/m<sup>3</sup>) ;

Remblais latéraux en craie traités au ciment, y compris sous les bassins d'épargne.

MOTS CLEFS :

- bassins d'épargne
- remblais traités
- radier perforé
- larrons
- interaction sol-structure

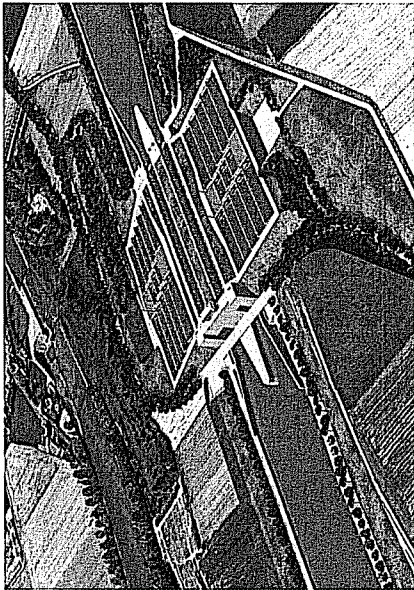
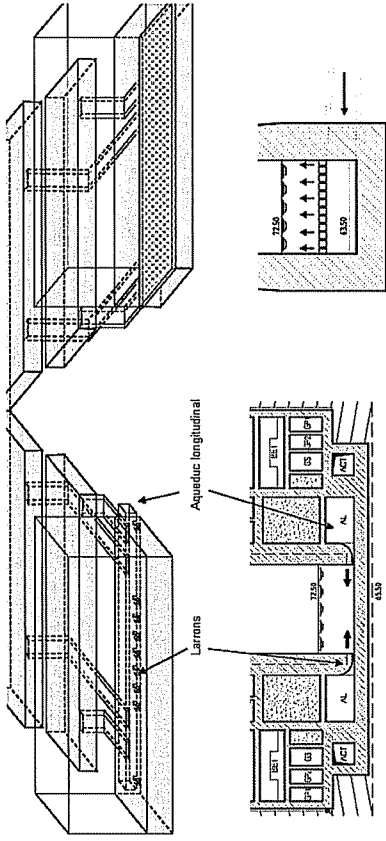


Figure 1 : Photomontage de l'écluse de 30 m de chute en configuration double



Introduction par la base des bajoyers

Introduction au travers d'un double radier perforé

Figure 4 : Introduction de l'eau dans le sas

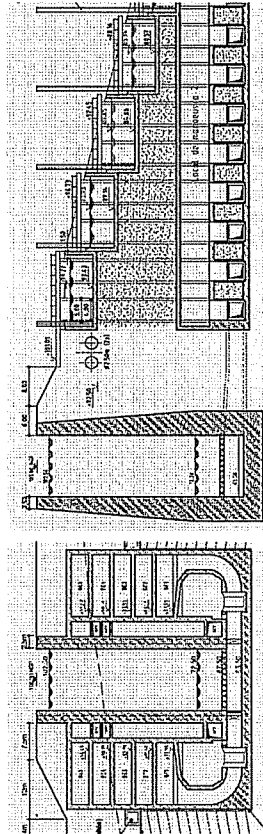
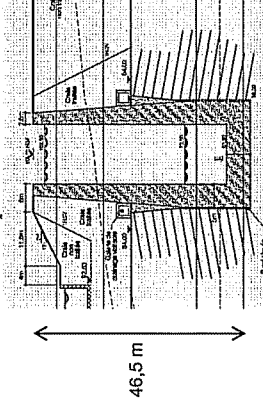


Figure 2 : Ecluse à BE intégrés

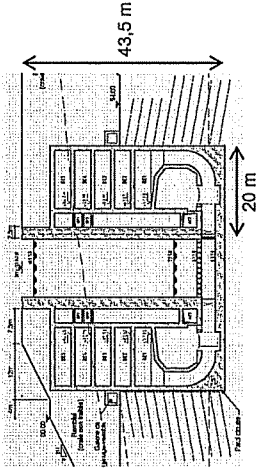
Figure 3 : Ecluse à BE séparés

Sas en U – Ecluse à bassins d'épargne séparés



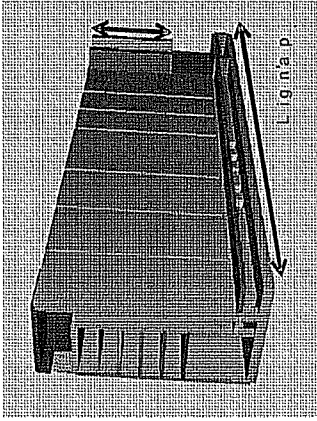
Le fonctionnement du sas sous les efforts latéraux s'effectue en pure déformations planes.  
Le fort contraste de rigidité entre les bajoyers du sas et ceux des têtes d'écluse impose la réalisation d'un joint vertical à la jonction sas/tête.

Ecluse à bassins d'épargne intégrés



Le fonctionnement vis-à-vis des efforts latéraux est plus complexe : La rigidité des bajoyers associés aux BE dans un plan transversal est en concurrence avec celle des BE dans un plan horizontal si ces derniers sont ancrés dans les têtes  
→ modélisation 3D nécessaire avec éléments de coques  
→ pas de contraste de rigidité sas / têtes et structure monolithique

Figure 5 : Coupes transversales des sas – fonctionnement comparatif



La structure est appuyée sur trois côtés : le mur de chute de chute à l'amont, le radier, le mur masque à l'aval

Fonctionnement dans le plan horizontal en « poutre caisson » de 200 ml de portée :

- Ames : dalles des bassins d'épargne
- Membrane inf. : bajoyer accueillant les rainures à batardeaux
- Membrane sup. : voile extérieur

La figure de droite présente une vue 3D partielle de la géométrie d'une des configurations comparée (1/4 de modèle suivant une symétrie longitudinale et transversale).

Figure 6 - Vue 3 D partielle de la géométrie d'une des configurations comparée

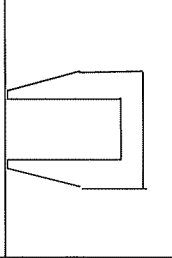
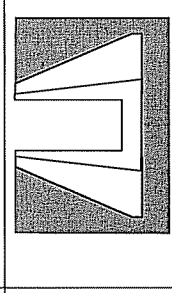
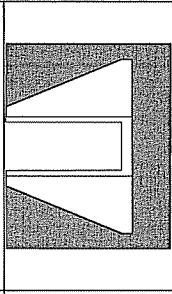
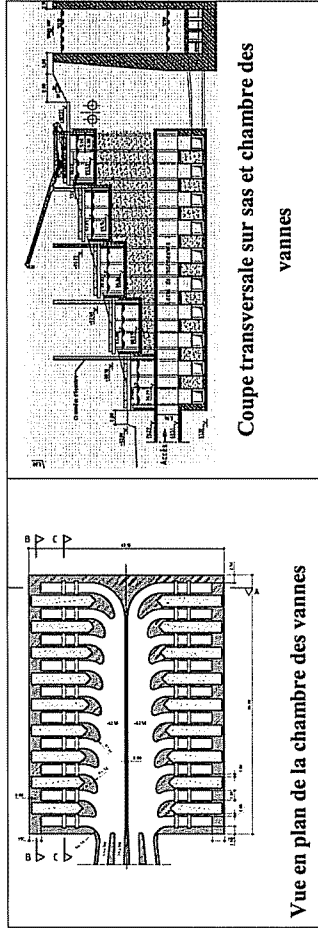
<p>Sas en U, en béton armé Sections massives et auto-stable</p> 	<p>Solution intermédiaire Sas en U avec remblais latéraux traités</p> 	<p>Sas avec bajoyers poids en béton compacté au rouleau et parement intérieur en béton armé</p> 
<p>→ Rôle structurel des remblais latéraux croissant →</p>		
<p>→ Rôle structurel des parements en béton armé décroissant →</p>		

Figure 7 - Structures de sas



Vue en plan de la chambre des vannes

Figure 8 - Agencement chambre des vannes

- Introduction de l'eau au travers d'un double radier perforé
- Vannes au niveau du local inférieur
- Puits unique pour chaque prise d'eau et chaque vanne
- Local de manœuvre des vannes sous le bassin d'épargne inférieur
- Utilisation de vannes de type papillons (hauteur insuffisante du local de manœuvre pour des vannes levantes)
- Puits pour les batardeaux d'isolement des bassins logés dans l'épaisseur des bajoyers ;
- Aqueducs de contournement des têtes logés au niveau inférieur contre le sas pour une introduction en partie médiane du sas (et non en extrémité)

Figure 9 - Sas à bassins d'épargne intégré solution 1 - Coupe type

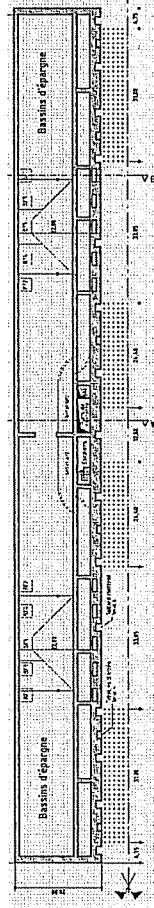


Figure 10 - Sas à BE intégrés - solution 1 - Vue en plan 1/2 côté - niveau BE

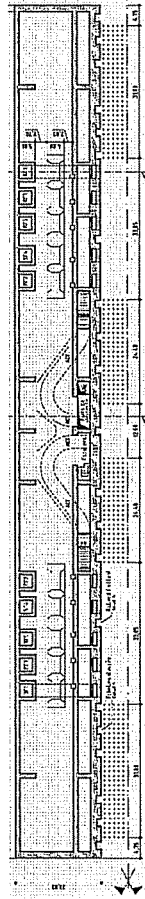


Figure 11 - Sas à BE intégrés - Solution 1 - Vue en plan 1/2 côté - niveau local de manœuvre inf.

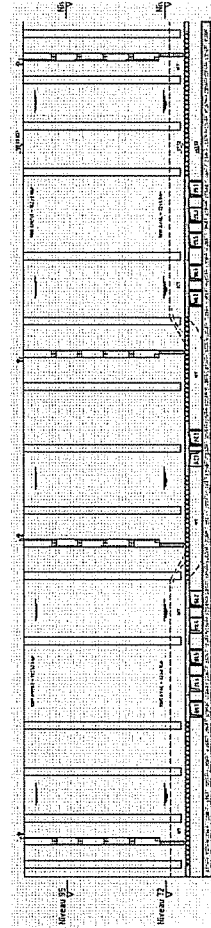


Figure 12 - Sas à BE intégrés - Solution 1 - élévation du sas

- Introduction de l'eau à la base des deux bajoyers
- Vannes implantées au niveau n-1 par rapport au bassin d'épargne n
- Certains puits mis en commun, implantés entre bassins et sas

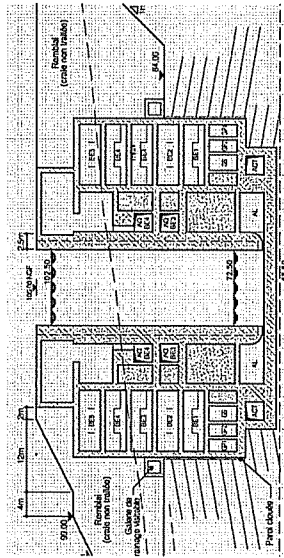


Figure 13 - Sas à BE intégrés - Solution 2 - Coupe type

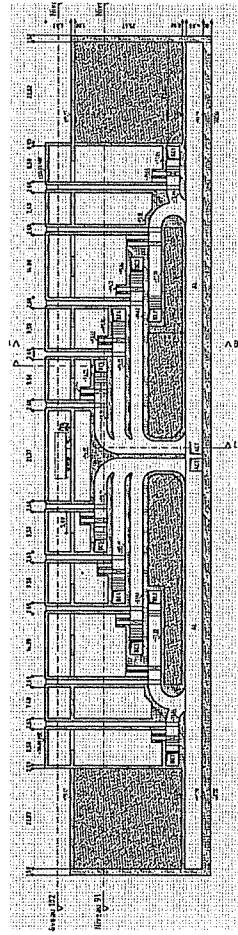


Figure 14 - Sas à BE intégrés - Solution 2 - Coupe longitudinale entre sas et bassins d'épargne

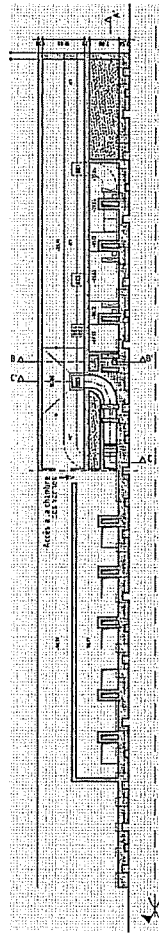


Figure 15 - Sas à BE intégrés - Solution 2 - Vue en plan 1/2 côté - niveau inf. et sup.

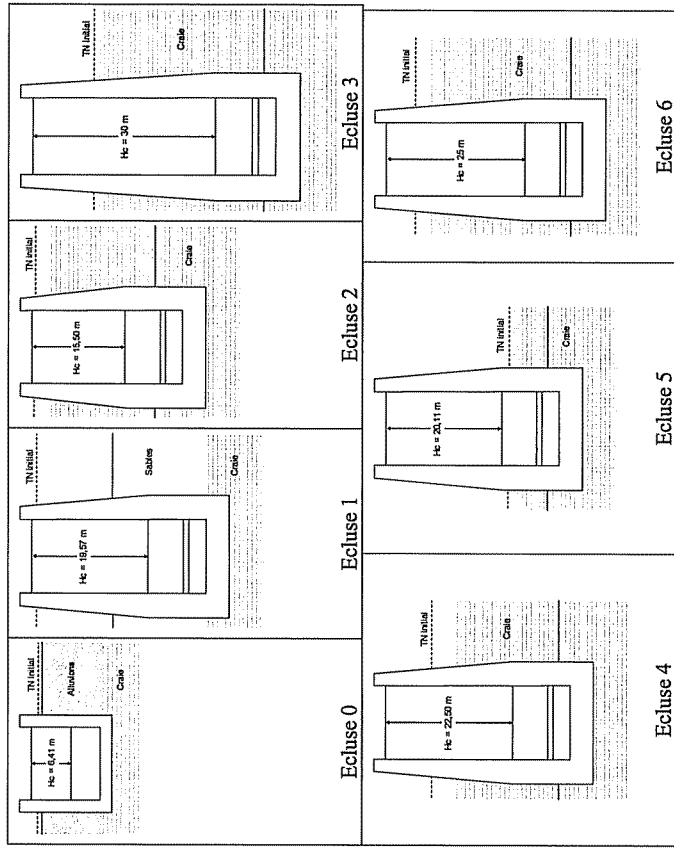


Figure 16 - Configurations géotechniques et hydro-géologiques



<p><b>Solution 2 avec remblais traités</b> Fouille talutée sur les 20 premiers mètres Paroi clouée sur les 13 derniers mètres Remblais latéraux traités (hauteur 32 m) <i>Avantages :</i> Possibilité d'implanter la galerie de drainage à un niveau optimal Paroi clouée de hauteur réduite Emprise réduite Maîtrise des tassements Prix optimisé (sas 20 % moins cher que la solution 1) <i>Inconvénients :</i> Hauteur des remblais traités encore importante (28 m).</p>	
<p><b>Solution 3 avec remblais traités</b> Fouille talutée sur les 8 premiers mètres Paroi clouée sur les 25 derniers mètres Remblais latéraux traités (hauteur 21 m) <i>Avantages :</i> Emprise la plus réduite Maîtrise des tassements Prix optimisé (sas 20 % moins cher que la solution 1), prix équivalent à la solution 2 <i>Inconvénients :</i> Galerie de drainage calée assez haut Très grande hauteur de la paroi clouée</p>	

TABLEAU N° 1 – Solution constructive n° 3 des écluses 2-3-4-5-6/coupe type du sas