

CANAL SEINE NORD EUROPE – CONCEPTION DES ECLUSES VIS-A-VIS DE LA SECURITE HYDRAULIQUE

Seine-Nord Europe Canal – Locks design with respect to dam safety

Luc DEROO

Groupement ONE, Société ISL

deroo@isl.fr

Jean-Jacques HEROU

Consultant, pour ISL

jean-jacques.herou@laposte.net

Claude LEFEVRE, Rémy MATTRAS

Groupement ONE, Société EGIS

Claude.LEFEVRE@egis-group.com ; Remy.MATTRAS@egis-group.com

Olivier QUESTE

SCSNE

Olivier.QUESTE@scsne.fr

MOTS CLEFS

Ecluse ; Sécurité hydraulique ; Etanchéité ; Drainage ; Crues ; Manœuvres intempêtes ; Automates

KEY WORDS

Lock; Hydraulic safety; Watertightness; Drainage; Flooding; Untimely operation; PLCs

RÉSUMÉ

Le CSNE est doté de sept nouvelles écluses. Six de ces écluses sont des écluses à grand gabarit. Six de ces écluses rachètent des hauteurs de chute importantes voire très importante (12 à 25 m). Six de ces écluses assurent des fonctions de sécurité pour des barrages de classe A ou B.

Cet article passe en revue les enjeux de sécurité hydraulique associés à ces écluses, et expose les mesures de conception et les barrières retenues.

Le retour d'expérience accidentologique est présenté, et utilisé pour mettre en évidence et illustrer les points-clé de la sécurité hydraulique :

- la maîtrise des crues,*
- la maîtrise des percolations,*
- la stabilité interne des différents ouvrages constituant un site éclusier,*
- la maîtrise des risques liés à l'exploitation.*

Puis la maîtrise des risques en exploitation liés à l'exploitation fait l'objet d'une présentation plus complète. Sont successivement présentés :

- les événements redoutés : intumescence dans le bief aval, mise en communication accidentelle des biefs amont et aval, débordements des bassins d'épargne,*

- les dispositions de conception (gestion des crues, alimentation électrique, SCADA) et barrières de sécurité mises en œuvre, ainsi que la caractérisation de leur fiabilité,
- l'importance des situations d'exploitation particulière, lors des opérations de maintenance par exemple.

ABSTRACT

The CSNE is equipped with seven new locks. Six of these locks are large-scale locks. Six of these locks overcome significant, even very significant, head drops (12 to 25 meters). Six of these locks also serve as safety features for Class A or B dams.

This article reviews the hydraulic safety challenges associated with these locks and outlines the design measures and barriers that have been implemented.

It presents lessons from past accidents and uses it to highlight and illustrate key points of hydraulic safety:

The role of locks in flood management,

The internal stability of the various structures making up a lock site (lock chamber, gates and valves, retaining walls, embankments, pressurized conduits),

The control of seepage,

The management of operational risks.

Then, the management of operational risks is covered in greater detail. The following points are successively presented:

The main feared events: surge in the downstream reach, accidental communication between the upstream and downstream reaches, overflow of the water-saving basins,

The initiating events: floods, unintended operation of gates and valves due to human error or malfunction of the control system, power supply or communication network failures, navigation accidents,

The design measures (flood management, power supply, SCADA systems) and safety barriers implemented, as well as the assessment of their reliability,

The importance of special operational conditions, such as during maintenance operations.

1. LES SITES ECLUSIERS DE CSNE

1.1. Présentation des sites éclusiers

Le futur Canal Seine-Nord Europe comporte 5 nouveaux biefs, fermés chacun par des sites éclusiers compatibles avec la navigation de bateaux de grand gabarit.

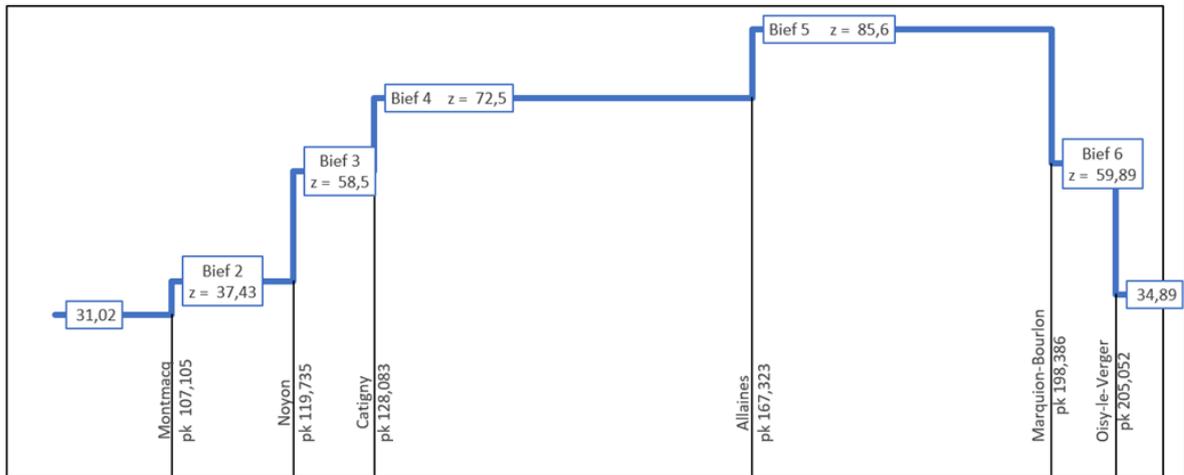


Figure 1: Escalier d'eau du CSNE (source : ONE)

Le site de Noyon est illustré ci-dessous.

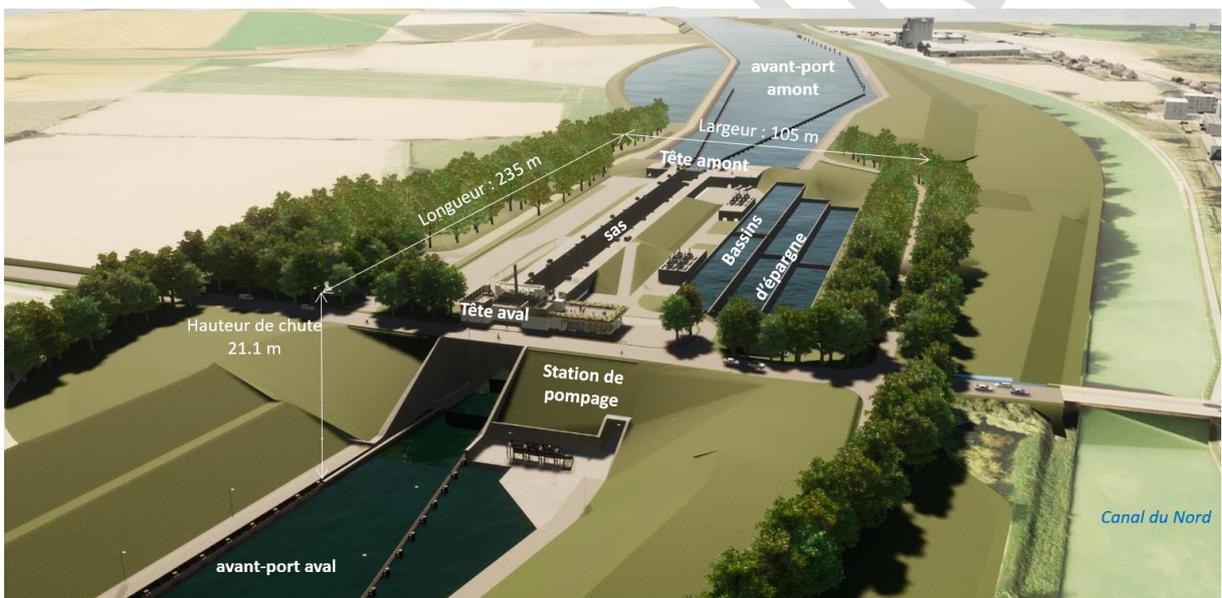


Figure 2: Perspective de l'écluse de Noyon (source : ONE)

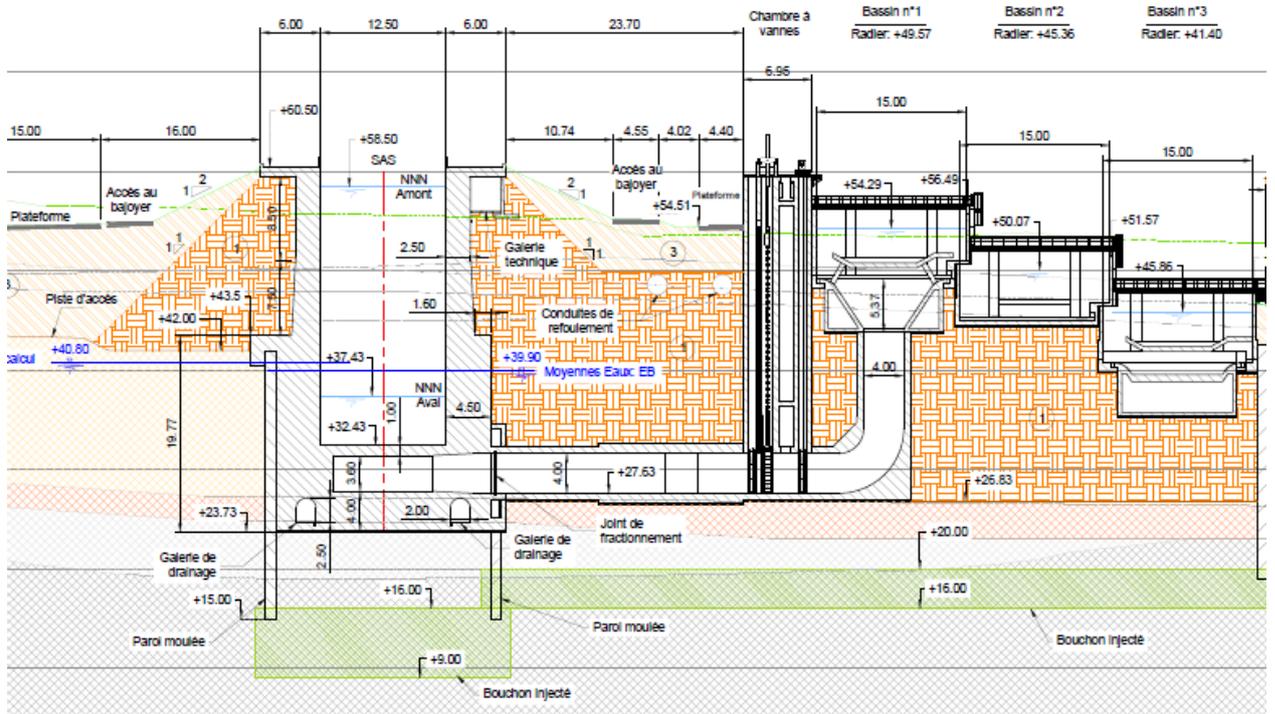
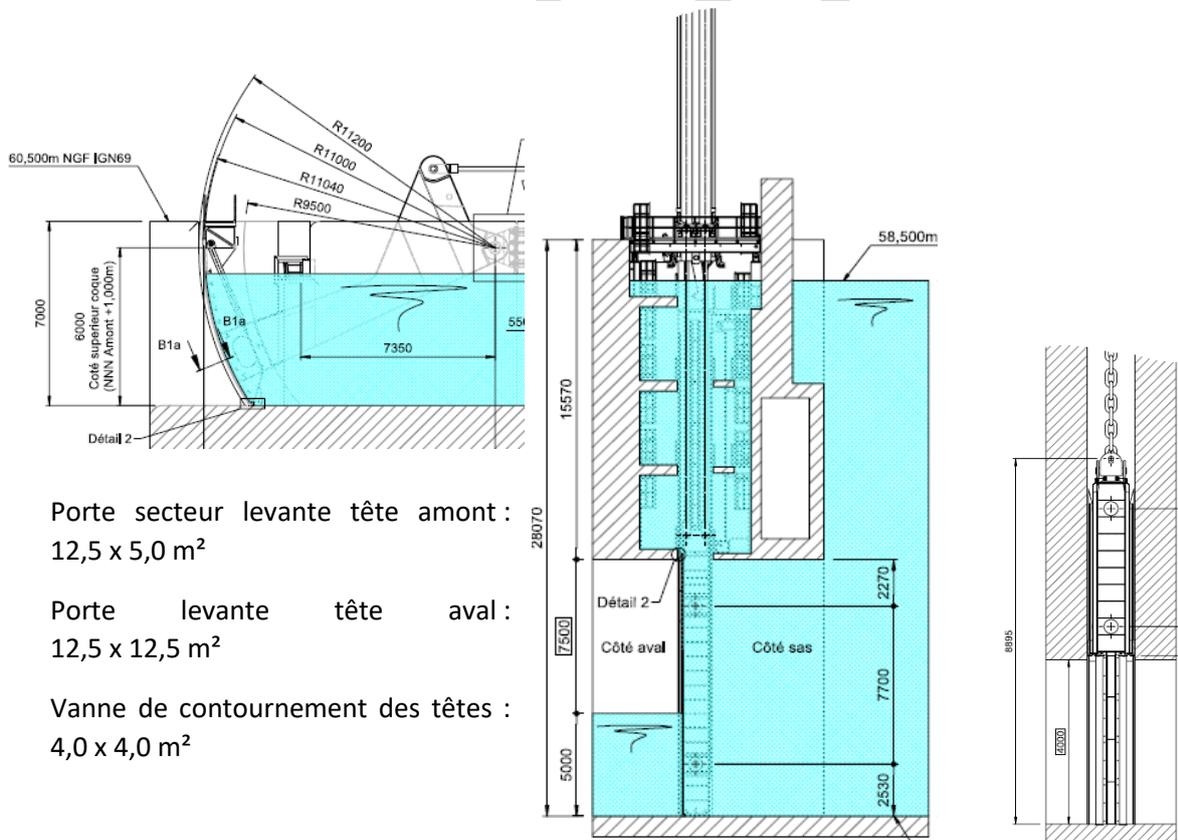


Figure 3: Coupe-type avec bassins d'épargne et figuré des conditions de sol (source : ONE)



Porte secteur levante tête amont :
12,5 x 5,0 m²

Porte levante tête aval :
12,5 x 12,5 m²

Vanne de contournement des têtes :
4,0 x 4,0 m²

Figure 4: Les portes et vannes de l'écluse de Noyon (source : ONE)

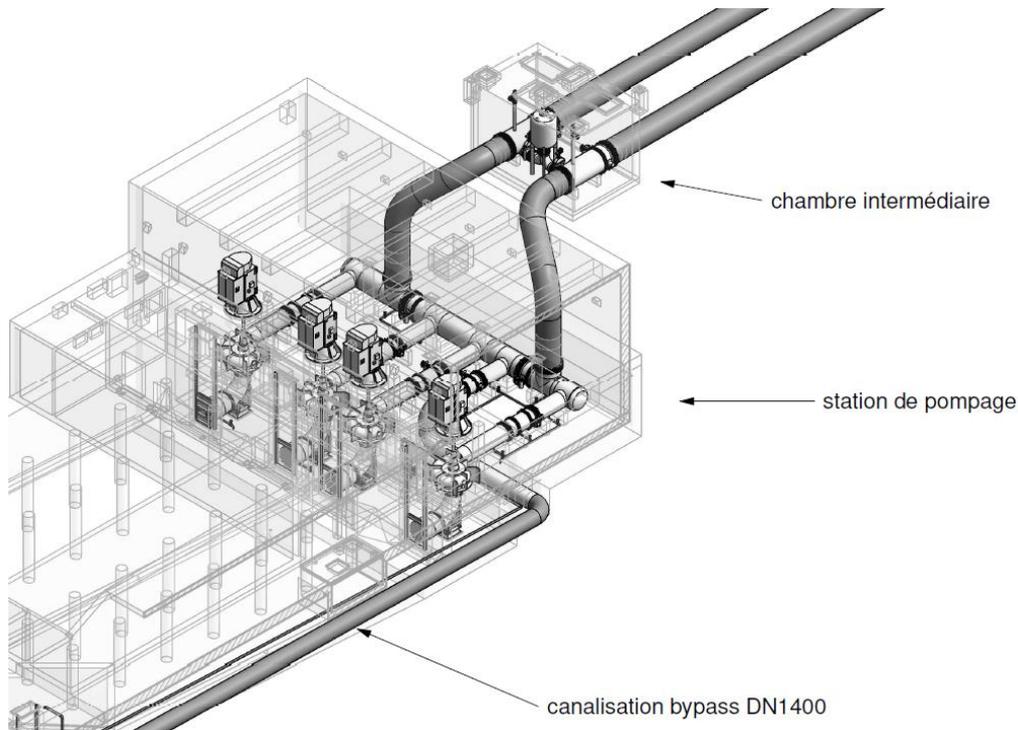


Figure 5: la station de pompage de l'écluse de Noyon (source : ONE)

1.2. Fonctions des écluses

Les sites éclusiers remplissent deux fonctions principales : passage des bateaux et gestion hydraulique. Le principe général de fonctionnement hydraulique du site éclusier est le suivant :

Passage des bateaux

En conditions normales d'exploitation, les sasses sont entièrement recyclées : essentiellement via les bassins d'épargne, et en complément par le pompage des débits relâchés vers le bief aval ;

- Le débit maximal relâché vers l'aval est 70 m³/s (30 m³/s pour l'écluse de Oisy-le-Verger, après passage par le bassin de compensation),
- Le débit de pompage permet de recycler intégralement les volumes qui ne sont pas épargnés

Gestion hydraulique

En crue du CSNE, jusqu'à la crue centennale, les bypass aux écluses font transiter les débits excédentaires, vers l'Oise en priorité, et vers la Sensée, en maintenant le niveau des biefs sous NNN+20 cm. Au-delà de la crue centennale, la navigation est interrompue. Les débits excédentaires sont évacués par les bypass puis, au-delà d'un certain niveau, par fausses bassinées.

Le site éclusier comporte les organes assurant le passage des bateaux :

- Porte amont et Porte aval
- Aqueducs de contournement des têtes et aqueducs entre bassins d'épargne et sas ; toutes ces galeries, de section 4m x 4m sont équipées de vannes wagons ; le débit capable de chacune est de l'ordre de 100 m³/s

- Les dispositions visant à limiter le débit maximal prélevé à l'amont et restitué à l'aval lors des opérations de sâssées pour maîtriser les intumescences : limitation des ouvertures des vannes d'aqueducs et (pour le cas de l'écluse de Oisy-le-Verger) bassin de compensation.

Le site éclusier abrite les ouvrages assurant la gestion hydraulique :

- La station de pompage,
- Le by-pass de la station de pompage,
- Les aqueducs de l'écluse qui peuvent être utilisés en fausses bassinées lors des crues exceptionnelles.

1.3.Singularités du CSNE

Les sites éclusiers du CSNE se distinguent d'autres écluses à grand gabarit par les spécificités suivantes :

- Le choix a été fait de ne pas immédiatement recourir à un doublement des sas. Cela conduit à rechercher des performances élevées de chacune des écluses pour la navigation : temps de passage optimisés, très faible taux d'indisponibilité.
- Les hauteurs de chute sont importantes ou très importantes (records européens).

De plus :

- Les écluses font partie de barrages neufs de classe A ou B ; à ce titre, elles doivent répondre à des exigences règlementaires (ATB2018 annexe II) peu éprouvées, et jamais pratiquées pour des composants de barrage de ce type. Typiquement : l'article 39 prévoit que « la probabilité de libération incontrôlée et dangereuse de l'eau contenue dans la retenue est inférieure à 10^{-5} si le barrage est de classe A ».

Ces conditions, ajoutées au fait que les écluses sont implantées sur un canal, plutôt que sur une rivière ou un fleuve capable de transiter de forts débits de crue (comme la Seine, le Rhône, la Moselle ou le Rhin) font que les exigences de sécurité sur les écluses du CSNE sont particulièrement élevées : un effacement intempestif d'une vanne ou d'une porte, par accident ou fausse manœuvre, peut conduire à une surverse ou un franchissement des remblais aval, sur des barrages de classe A ou B.

A contrario : il n'y a pas de scénario d'accident majeur qui serait provoqué par une indisponibilité des organes d'évacuation des crues aux écluses (bypass, fausses bassinées). En effet, les *Sections Résistantes à la Surverse* mises en œuvre sur chacun des biefs permettent de maintenir le niveau des biefs sous la cote de danger pour la crue exceptionnelle, y compris en cas d'indisponibilité complète d'un quelconque des sites éclusiers.

2. POINTS-CLE DE LA SECURITE HYDRAULIQUE

2.1.Inventaire des accidents redoutés

Le tableau ci-dessous dresse l'inventaire des problématiques de sécurité hydraulique associées aux sites éclusiers (hors remblai des avant-ports).

Tableau 1. Inventaire des principales problématiques de sécurité hydraulique pour les écluses

Événement	Causes possibles	Scénario d'accident grave possible
Défauts d'étanchéité		
Jonction tête amont – bief amont	Tassements différentiels	Montée de la nappe dans le site éclusier => risque instabilité des talus (érosion interne ou grand glissement)
Joints structurels entre structures de l'écluse		
Conduite station de pompage		
Ruptures de structures ou d'éléments du site éclusier		
Instabilité de la Tête aval	Insuffisance mécanique de la fondation Collision bateau	Intumescence dangereuse (vidange sas) Puis : Mise en communication bief amont - bief aval (selon état d'ouverture des autres organes)
Fracturation du sas	Tassements différentiels Fatigue sous les cycles de chargement	Circulation d'eau générant de l'érosion des remblais adjacents. Pas de mode de rupture associé.
Rupture des Conduites de la station de pompage	Tassements différentiels ou autres phénomènes de dégradation de la conduite. Surpressions	Inondation du site éclusier Montée de la nappe dans le site éclusier
Défaillance des organes hydromécaniques		
Rupture ou Ouverture intempestive - d'une vanne - d'aqueduc - d'une porte	Insuffisance mécanique Collision bateau sur porte amont Défaut dans la chaîne de téléconduite des écluses	Intumescence dangereuse (vidange du sas) si vanne ou porte aval et sas plein. Mise en communication bief amont -> bief aval (selon état d'ouverture des autres organes) => Surverse des remblais du bief aval si rien n'est fait.
Rupture ou fausse manœuvre des vannes de bassin d'épargne	Défaut dans la chaîne de contrôle-commande	Débordement de bassin d'épargne => inondation du site éclusier

2.2. Défaut d'étanchéité - Maîtrise des percolations

Éléments de REX accidentologique¹

2015	Gatun (Panama)	Fuites importantes détectées à travers les structures de l'écluses. Crainte que cela conduise à de l'érosion en fondation => réparations.
2015	Lanaye (Belgique)	Défauts d'étanchéité au raccordement tête amont – canal. Détecté à la mise en service.
2019	Ecluse de Bonneville (USA)	Rupture du joint entre le sas et le seuil aval => percolations d'eau dans les sols de fondation => réparations.

Les dispositions retenues pour limiter l'occurrence de ce type d'accident, et les éventuelles conséquences, reposent classiquement sur le triptyque : étanchéité / filtration / drainage.

¹ Les REX ci-dessous ont été rapportés par différents confrères, et ne sont pas documentés dans la littérature technique.

Les localisations de possibles défauts d'étanchéité sont nombreuses, et notamment :

- Au raccordement bief amont – tête amont
- Au droit des joints d'étanchéité du sas, sollicités cycliquement (100 ans de service, c'est de l'ordre de 1 million de cycles)
- Au droit des joints d'étanchéité entre sas / aqueducs / bassins d'épargne
- Au raccordement de la conduite de la station de pompage avec la station de pompage

Les joints d'étanchéité, de type lame waterstop, sont visitables et réparables.

Trois dispositifs de drainage sont mis en œuvre :

- Des circuits de drainage sont placés immédiatement derrière les joints d'étanchéité du sas et des aqueducs ; fonction : éviter les phénomènes d'érosion interne que provoqueraient les variations cycliques de nappe dans les remblais adjacents.
- Des massifs drainants en gravier sont mis en œuvre dans les remblais et raccordés au bief aval : fonction : maîtriser le niveau de la nappe dans le site éclusier
- Des filtres-drain cheminée sont placés dans les remblais proches du bief amont et dans les remblais fermant le site éclusier côté bief aval ; fonction : protection des remblais contre les percolations (érosion interne, pressions interstitielles).

Lorsque c'est nécessaire, des filtres sont placés en amont des dispositifs de drainage.

2.3. Stabilité interne des ouvrages et parties d'ouvrages

L'accident le plus grave serait l'instabilité de la tête aval, par glissement sur sa fondation. La tête aval est fondée sur de la craie, rocher dont la résistance est modeste, et qui peut subir des altérations sous les cycles de chargement. Moins graves sont les mouvements différentiels qui seraient provoqués par des défauts de fondation ou des défauts dans les remblais latéraux : les conséquences potentielles sont l'ouverture de fissures ou fractures dans le génie-civil ou par les joints de construction, entraînant des fuites importantes.

La conception retenue est une conception « monolithique » : les différents composants de l'écluse (têtes, sas) forment une seule structure. Cela supprime le risque d'instabilité de la tête aval, et cela lisse les irrégularités de fondation.

2.4. Défaillance des organes hydromécaniques

Eléments de REX accidentologique

1993	Iffezheim (Rhin)	La porte abaissante amont a rencontré un problème sur son système de manœuvre => ouverture alors que la porte aval était déjà ouverte. Vidange partielle du bief d'environ 27 km entre l'écluse de Gamsheim et Iffezheim.
1991	Kembs (Rhin)	Rupture mécanique porte amont.
1998	Bollène (Rhône)	La porte amont de l'écluse de Bollène s'ouvre alors que le sas est en position basse et qu'un bateau est à l'intérieur.
2020	Sablons (Rhône)	Le Pampero est amarré dans l'écluse. La porte aval cède pendant le cycle montant (à 8 m de hauteur d'eau).
2023	Iffezheim	Une péniche a percuté la porte amont de l'écluse. La porte est partiellement détruite.

Plusieurs accidents passés ont été provoqués par la rupture d'équipements mécaniques. La réponse adaptée tient dans les choix de conception (prépondérance à la fermeture, résistance interne assurée dans toutes les positions et niveaux de remplissage du sas), le soin apporté au dimensionnement des éléments, puis le soin apporté à la maintenance préventive (fatigue, corrosion).

Les accidents de navigation ne peuvent pas être évités. Un calcul a été effectué pour vérifier que la porte aval serait endommagée, mais ne serait pas effacée par une collision d'un bateau montant ne marquant pas l'arrêt (collision à vitesse 2,4 m/s – sensiblement supérieure à la vitesse de calcul de l'Eurocode : 1,5 m/s -, en considérant le bateau de plus grande masse : convoi poussé CEMT Vb). La porte amont est protégée par une poutre pare-chocs, mais ce dispositif ne protège pleinement que contre les collisions à faible vitesse (0,65 m/s). En cas d'effacement de la porte amont, l'exploitant peut mettre le barrage en sécurité en fermant la porte aval (qui est capable de fermer gravitairement en charge) : il dispose d'une heure pour mener à bien cette opération, depuis le poste centralisé de commande, après divers moyens d'alerte (alarmes des capteurs / retour son et vidéo), et ainsi éviter la surverse par-dessus les remblais aval.

Les ouvertures intempestives peuvent être provoquées par une incohérence dans la chaîne de contrôle-commande (capteurs -> traitement -> actionneur), ou par une erreur humaine (cela ne couvre pas le cas de défaillance humaine de type malaise, car les seules circonstances dangereuses résultent d'une action, et pas d'une absence d'action). Les réponses apportées sont les suivantes :

- L'intervention conjointe de l'homme et de l'automate pour la conduite des écluses : l'opérateur lance les séquences de cycle (et vérifie l'état du système entre chaque séquence), l'automate opère les manœuvres liées à la séquence (et vérifie l'état du système au lancement et au cours des séquences)
- La fiabilisation de la chaîne de contrôle-commande : redondances, contrôles de cohérence.
- L'ajout d'un automate de sauvegarde indépendant, dont le rôle est d'empêcher les manœuvres d'ouverture si les conditions essentielles ne sont pas remplies.
- Supervision humaine constante, via caméras et communications avec les bateliers ; bouton « arrêt d'urgence » pour mettre l'écluse en position de repli (maintien des portes en position, fermeture des vannes) : bouton « fermeture portes » enclenchable après vérifications que cette fermeture est possible. Liaison site – poste de conduite assurée par une fibre optique « autocatrisante » (c'est-à-dire en boucle).
- Plateforme de test pour le SCADA et les automates de conduite, pour qualification de toute modification au système. Présence humaine sur sites éclusiers lors des phases de déploiement et de vérification du système ou des modifications du système.

La continuité de l'alimentation électrique n'est nécessaire qu'en situation accidentelle :

- La perte de l'alimentation ne génère pas de situations dangereuses du point de vue des barrages, quelles que soient les positions des vannes et portes (hors accident de navigation). Cela reste vrai en cas de crue.
- L'alimentation électrique est requise pour la mise en sécurité de l'installation en situation d'incident ou accident de navigation ; elle est secourue par un groupe électrogène fixe (avec basculement automatique en cas de défaut sur l'alimentation principale), et un ultime secours via un groupe électrogène mobile.

2.5. Application du concept de Défense en Profondeur à la conception

La défense en profondeur est un concept de sûreté fondamentale, dont l'objectif principal est de garantir que toutes les activités de *sécurité hydraulique* – qu'elles soient liées à l'organisation, au comportement ou à l'équipement – comportent des niveaux de mesures qui se recoupent de façon que, si une défaillance devait se produire, elle soit compensée ou corrigée sans nuire au public. Les multiples niveaux de protection sont une caractéristique fondamentale de la notion de défense en profondeur. Dans le cas présent, ces niveaux sont les suivants :

- Niveau 1/2 : Automate Programmable Industriel (API) et l'Automate Programmable de Sécurité (APS) associé, avec surveillance humaine, avec : Niveau 1 : le fonctionnement de base ; Niveau 2 : suivi d'autres paramètres, comme les efforts sur les vérins ;
- Niveau 3 : Automate de sauvegarde ;
- Niveau 4 : la conception de la crête des remblais, qui fait que même en cas franchissement par une intumescence ou de surverse plus continue, il y a des chances sérieuses que l'accident ne conduise pas à l'ouverture d'une brèche dans les remblais ;
- Niveau 5 : alerte aux populations.

Les niveaux 1 à 3 limitent la probabilité de l'atteinte de la cote de danger. Les niveaux 4 et 5 correspondent aux cas de dépassement de la cote de danger.

Des caractéristiques de sûretés inhérentes et des systèmes de *sécurité hydraulique* passifs sont de plus en plus souvent proposés (par exemple : industrie nucléaire) et un accent accru est mis sur : les niveaux de défense en profondeur, les barrières physiques et les fonctionnements en « fail safe ». Dans le cas présent, la sécurité des biefs en crue repose sur des barrières physiques et du « fail safe » : en cas de défaut d'ouverture des vannes pour l'évacuation des crues, un ouvrage assure l'évacuation du trop plein dans les biefs, sans surverse. Mais il n'est pas possible de faire reposer la sécurité en exploitation uniquement sur des barrières physiques passives ou du « fail safe ». Les contraintes imposées aux composants oléo-hydrauliques conduisent à faire reposer au moins en partie cette sécurité sur le contrôle commande amont qui devra donner ou non l'autorisation à ces organes de manœuvrer.

L'emploi de technologies programmées que cela implique accroît les contraintes car ces dispositifs ne doivent pas être agressés de l'extérieur. Il faut donc que la sécurité repose sur des systèmes autonomes, avec lesquels les communications sont impossibles : le contrôle commande API/APS du site (qui communique avec le PCC) ne peut qu'observer que l'Automate de sauvegarde fonctionne effectivement.

L'objectif quantifié requis à « la probabilité de libération incontrôlée et dangereuse de l'eau contenue dans la retenue est inférieure à 10^{-5} si le barrage est de classe A » est à mettre en regard de la probabilité « d'erreur » des actions humaines, typiquement estimée à de 10^{-3} par action. Par contre le facteur de récupération (capacité à détecter et corriger une défaillance) de l'être humain est important. Il repose sur l'organisation et la formation.

3. COMPLEMENTS SUR LES RISQUES EN EXPLOITATION

3.1. Accidents redoutés et principales parades

Il s'agit d'éviter deux types d'accidents graves :

- L'occurrence d'une vague d'intumescence dangereuse qui serait provoquée par la libération rapide des eaux du sas
- La mise en communication des biefs.

Des calculs simplifiés (1D, transitoire) ont été réalisés pour évaluer l'ampleur des ondes d'intumescence, dans les cas extrêmes de l'effacement instantané d'une vanne de contournement de la tête aval, ou de la porte aval. Le volume contenu dans le sas (35 000 à 70 000 m³ selon les écluses) est suffisant pour que la vague d'intumescence provoquée par la rupture de la porte aval franchisse la crête des remblais.

La mise en communication des biefs amont et aval se produit en cas d'ouverture simultanée côté tête amont (vanne ou porte) et tête aval (vanne ou porte). Dans le cas le plus défavorable d'un bief aval court, la surverse par-dessus les remblais du bief aval se produit après 3/4h. Contrairement au cas de l'intumescence, on dispose donc d'un peu de temps pour limiter les conséquences de l'accident.

Ainsi, la sécurité hydraulique repose essentiellement sur les éléments suivants :

Accident	Causes	Sécurités
Intumescence	Rupture mécanique porte aval	Robustesse porte aval
	Collision grave porte aval	Robustesse porte aval
	Ouverture intempestive porte aval	Sécurités de la conduite, cf. #1 ci-dessous
Mise en communication	Rupture porte amont (circuit aval ouvert)	Robustesse porte amont <i>OU</i> Capacité à refermer porte et vannes aval, cf. #2 ci-dessous
	Collision grave porte amont	Capacité à refermer porte et vannes aval, cf. #2 ci-dessous
	Rupture vanne contournement tête	Robustesse vannes <i>OU</i> Capacité à fermer au moins une autre vanne sur chaque circuit, cf. #2 ci-dessous
	Ouverture intempestive d'une vanne ou porte	Sécurités de la conduite <i>OU</i> Capacité à réagir avant surverse, cf. #3 ci-dessous

3.2. Besoin essentiel #1 : Sécurités de la conduite

Ce besoin se décline différemment dans les différentes conditions d'exploitation : exploitation courante avec téléconduite, avec conduite locale, phases de maintenance avec manœuvre des organes sans automate, phases de mise en service post-travaux ou post-maintenance.

La conduite en exploitation est opérée à distance (poste central de commande, PCC) ou localement, selon les principes généraux exposés par le diagramme ci-dessous :

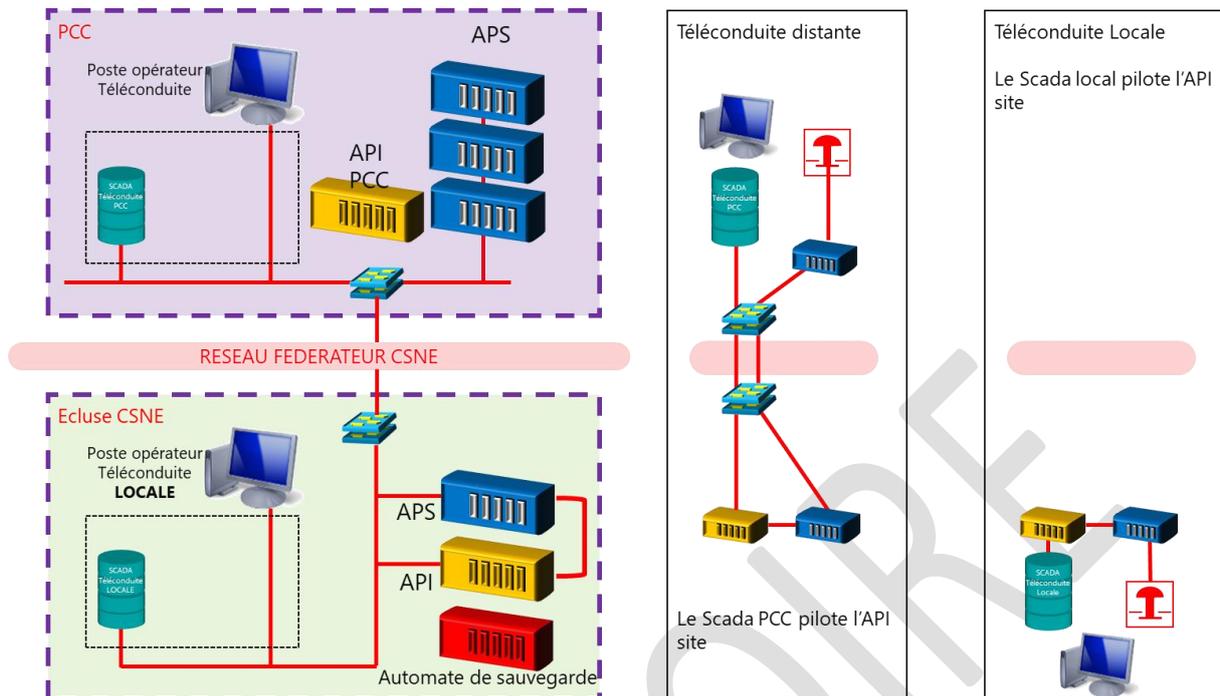


Figure 6: Scada et automates pour la conduite des écluses (source : ONE)

Le diagramme ci-dessous (Tableau 2) illustre le cas d'un cycle montant. On note sur ce diagramme :

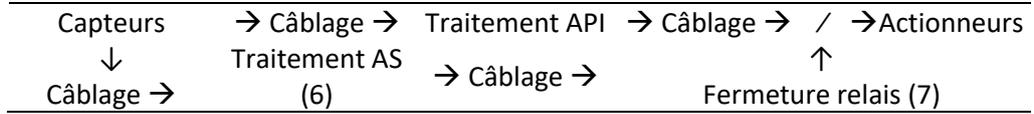
- L'intervention systématique de l'opérateur, qui permet essentiellement de vérifier que le bateau est en sécurité à chaque étape.
- Le pilotage du process d'ouverture des vannes par un automate de process, API. Cet automate (au sens de l'ensemble de la chaîne, des capteurs aux actionneurs) est doté d'un haut niveau de sécurité :

Capteurs (1)	→ Câblage → (2)	Traitement API → (3)	Câblage → (4)	→ Actionneurs (5)
(1) : redondance des capteurs, interprétés en mode « 2oo3 » (3 capteurs, et il en faut au moins deux donnant une information cohérente pour que le cycle soit lancé)				
(3) : doublement du processeur de traitement, et vérification de la cohérence en sortie (et architecture interne cohérente avec les exigences « SIL3 » de la norme CEI 61508) ;				
(2), (4) et (5) : en cas de défaut sur cette chaîne, l'action n'est pas opérée : pas d'impact sécurité (puisque sur ce système, l'absence de manœuvre est sans danger)				

L'API est doublé d'un traitement « APS » (ou « safety »), unité supplémentaire qui a deux fonctions :

- Vérifier l'intégrité de la liaisons PCC – site
- Permettre la mise en repli de l'installation, soit par l'opérateur (bouton poussoir rouge), soit par l'APS, si constat de perte

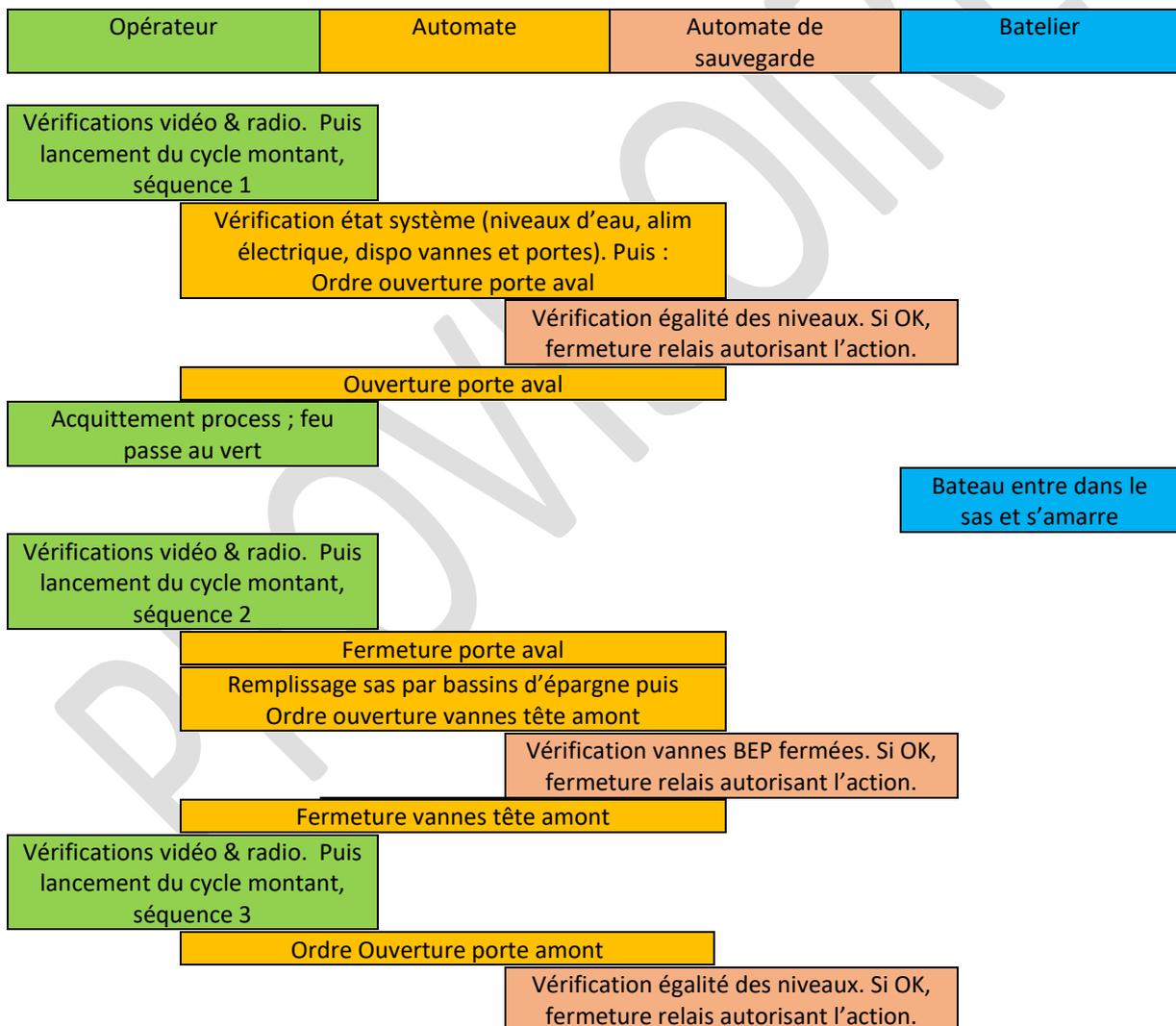
- Le contrôle indépendant par l'automate de sauvegarde, qui est en fait un « relais de sécurité », comme par exemple décrit en annexe du guide OMEGA10 :



(6) : traitement algorithmique par l'Automate de Sauvegarde le plus simple possible, de vérification de position fermée pour des vannes, ou d'égalité de niveaux. Capteurs interprétés en mode « 2oo3 ». Niveau de certification SIL3.

(7) : la position normale du relais est « ouverte » ; l'Automate de Sauvegarde permet la fermeture si les conditions sont remplies.

Tableau 2. Synoptique présentant les actions successives assurées par les acteurs (humains ou machines) lors d'un cycle d'écluse. Chacune des lignes du tableau représente les actions successives ; les colonnes mentionnent les acteurs en charge



3.3. Besoin essentiel #2 : pouvoir refermer les vannes et portes en cas d'accident grave de navigation

En cas de rupture mécanique d'une porte ou vanne, y compris en cas de collision, il faut pouvoir, dans certains cas, refermer une porte ou une vanne du circuit.

La fermeture des vannes est assurée par la fonction « arrêt d'urgence ». La fermeture des portes ne l'est pas : l'arrêt d'urgence maintient les portes en position, pour limiter le risque d'une fermeture accidentelle sur un bateau qui se trouverait en dessous. La re-fermeture des portes s'effectue par la voie classique (API), mais par un bouton poussoir spécifique, clairement distingué de l'arrêt d'urgence.

L'arrêt d'urgence et la refermeture des portes par le bouton poussoir ont besoin d'alimentation électrique. La continuité de l'alimentation, y compris en cas d'accident grave à l'écluse, est assuré par un doublement des cheminements de câbles (de chaque côté de l'écluse), et par la redondance des sources d'alimentation (1/ groupe électrogène et 2/ batteries).

3.4. Besoin essentiel #3 : capacité à réagir avant surverse

Réagir avant surverse, en cas d'ouverture intempestive (fausse manœuvre) d'une vanne ou porte, consiste à refermer les vannes et au moins une porte, dans un délai de l'ordre d'une heure. Les actions requises sont l'*arrêt d'urgence* et la *fermeture porte*, décrits ci-dessus.

3.5. Conception, mise en œuvre, déploiement et suivi opérationnel

Au stade actuel du développement du projet, le niveau de sécurité requis est atteint avec un tel dispositif. La confirmation pratique nécessitera une série d'étapes successives dans la mise au point et l'organisation, avec au moins :

- Les analyses fonctionnelles détaillées dans le cadre des études d'exécution,
- Le développement informatique par des équipes distinctes, pour API/APS d'un côté, et AS de l'autre
- Le développement d'une plateforme de test, utilisée pour les essais des automates en phase de développement de projet, puis pour assurer la surveillance des automates (en « re-jouant » des scénarios d'exploitation), et qualifier les opérations de maintenance
- La présence sur site pendant la période initiale de fonctionnement,
- La mise en place d'une organisation humaine qui assure la vigilance des opérateurs pendant les phases d'exploitation, qui assure la bonne gestion des situations d'incidents ou accidents, et qui garantisse la sécurité des opérations de modification sur les automates.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Conception hydraulique des écluses de haute chute et des systèmes de gestion hydraulique du Canal Seine Nord Europe, Olivier QUESTE, Rémy CROIX, Bernard BRACHET, Joris MEERSSCHAERT. Colloque CFBR Vantellerie, Aix les Bains, juin 2024.
- [2] La conception de la nouvelle porte amont des écluses du Canal Seine-Nord Europe, Hendrik BLONTROCK, Joris MEERSSCHAERT, Rémy CROIX. Colloque CFBR Vantellerie, Aix les Bains, juin 2024.
- [3] Rupture de la porte aval de l'écluse des Sablons, CNR. Symposium CFBR janvier 2023.
- [4] OMEGA10. Evaluation de la performance des Barrières Techniques de Sécurité. INERIS, 2018.