

CANAL SEINE NORD EUROPE : PRISE EN COMPTE D'ENJEUX EXCEPTIONNELS POUR LA CONCEPTION DU DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ

CANAL SEINE NORD EUROPE: TAKING INTO ACCOUNT SPECIFIC CHALLENGES FOR THE DESIGN OF THE LINING SYSTEM

Thierry GISBERT¹, Thierry MOLLIER², Gaëtan POTIÉ³, Benoît CORTIER⁴, Jean-Robert COURIVAUD⁵ et Thomas WOHLHUTER⁶

1 ARCADIS ESG, Paris, France

2 EGIS, Seyssins, France

3 SCSNE, Compiègne, France

4 SETEC HYDRATEC, Paris, France

5 EDF, Le Bourget du Lac, France

6 ARCADIS ESG, Saint-Herblain, France

RÉSUMÉ – Le Canal Seine-Nord Europe (CSNE) ouvrira en 2028. Long de 107 km, il permettra d'accueillir des bateaux d'une longueur allant jusqu'à 185 mètres. Les travaux débuteront en 2022. La conception des dispositifs d'étanchéité, en cours, prend en compte des enjeux exceptionnels tels que :

- la maîtrise des pertes par infiltrations, qui doivent rester inférieures à 0,62 m³/s pour l'ouvrage,
- la durée de vie attendue, qui doit être supérieure à 75 ans,
- le maintien en eau du canal pendant toute sa durée d'exploitation (pas de vidange programmée),
- les dimensions (profondeur 4,5 m et largeur 54 m) et la durée du chantier (plus de 5 ans),
- l'absence de retour d'expérience récent sur des canaux de telle ampleur.

Mots-clés : Canal, Etanchéité, Géomembranes, Durabilité, Protection

ABSTRACT – The « Canal Seine-Nord Europe » will open in 2028. With a length of 107 km, it will allow the navigation of ships up to 185 meters. The construction works will start in 2022. The design of the lining watertight systems, still in progress, considers the following exceptional key points:

- the infiltration flux must remain under 0,62 m³/s for the whole canal,
- the expected effective lifetime must reach at least 75 years,
- no emptying of the canal is forecasted during its whole period of operation,
- the dimensions (4,5 m depth and 54 m width) and the duration of the works (more than 5 years),
- the lack of any recent lessons learned from experience on such canals.

Keywords: Canal, Watertightness, Geomembranes, Lifetime, Protection

1. Présentation du Canal Seine-Nord Europe et des enjeux principaux

1.1. Contexte

Le Canal Seine-Nord Europe (CSNE), dont l'ouverture est prévue en 2028, reliera l'Oise au canal Dunkerque-Escaut, de Compiègne à Aubencheul-au-Bac, près de Cambrai, comme présenté sur la figure 1.

Il crée une offre alternative compétitive, face aux poids lourds, sur cet axe Nord-Sud où les marchandises circulent presque exclusivement par la route et permet de développer le débouché fluvial qui bénéficiera à tous les grands ports maritimes et fluviaux de la Seine à l'Escaut.

La réalisation du Canal Seine-Nord Europe permettra ainsi de bénéficier d'un effet "réseau", profitant directement aux bassins des Hauts-de-France et de la Seine. Il facilitera les échanges entre l'Europe du Nord et les ports de Dunkerque, le Havre et Rouen. Le Canal Seine-Nord Europe constituera ainsi un levier de développement économique important, notamment pour l'industrie agroalimentaire et les matériaux de construction.

Long de 107 km, il aura une profondeur d'eau de 4,5 m et une largeur en surface de 54 m. Ce canal, à grand gabarit européen, permettra d'accueillir des bateaux d'une longueur allant jusque 185 mètres et 11,40 mètres de large, pouvant contenir 4 400 tonnes de marchandises, soit l'équivalent de 220 camions. Sur les secteurs 2 à 5, situés les plus au Nord, l'avant-projet a été finalisé en décembre 2021

et les travaux débuteront en 2023, pour les travaux préparatoires, et 2024 pour les grands travaux. Ces secteurs sont :

- le secteur 2 allant de Noyon à Péronne (sud de la Somme),
- le secteur 3 allant de Péronne (nord de la Somme) à Ytres,
- le secteur 4 allant de Ytres à Aubencheul-au-Bac,
- le secteur 5 comprenant 5 écluses à grand gabarit et l'écluse de jonction avec le canal du nord,
- le secteur 6 comprenant le Pont Canal sur la Somme (1 330 m) et ses avant-ports.

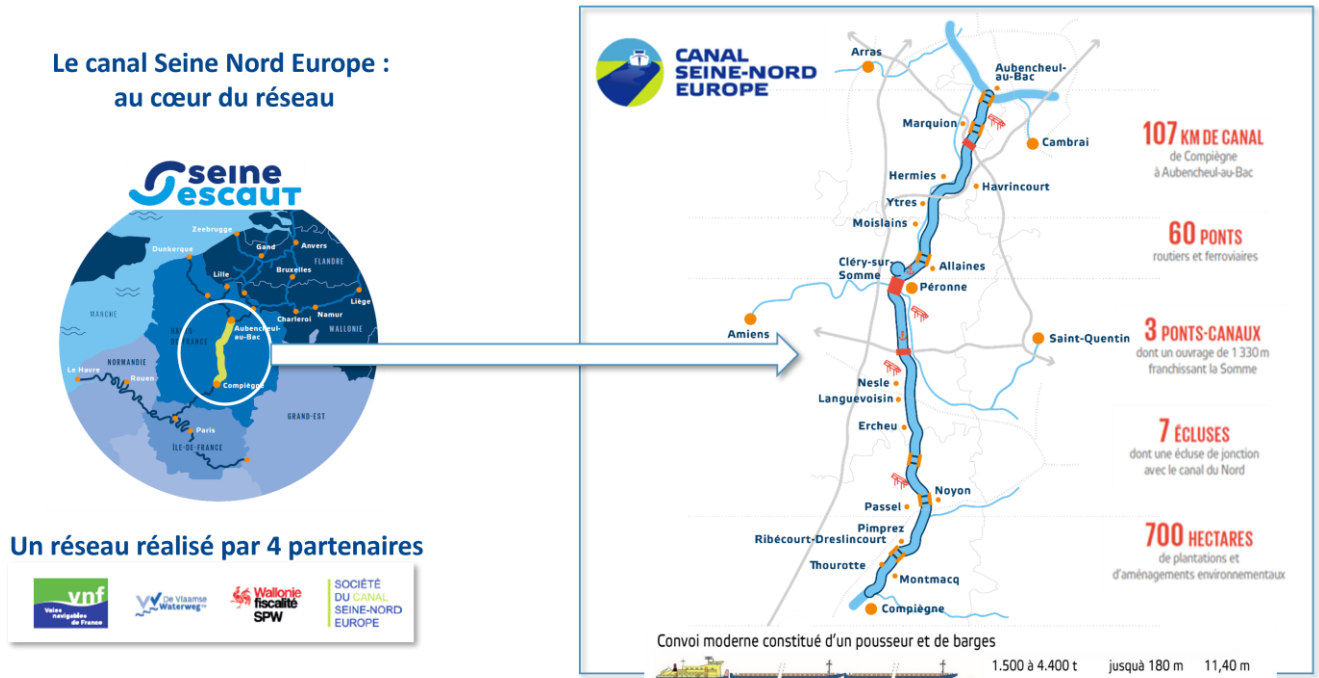


Figure 1. Tracé du Canal Seine Nord Europe et connexion avec les réseaux Seine et Escout

Les enjeux exceptionnels liés aux dispositifs d'étanchéité du CSNE sont, notamment :

- le schéma d'approvisionnement en eau qui limite à 1,2 m³/s le prélèvement annuel moyen dans l'Oise. De cette alimentation, le programme définit des performances de perméabilité, qui doivent être telles que les pertes par infiltrations restent en deçà d'une valeur de 0,62 m³/s pour la totalité de l'ouvrage,
- la durée de vie attendue, supérieure à 75 ans,
- l'absence de vidanges complètes programmées,
- les dimensions et la durée du chantier,
- l'absence de retour d'expérience récent sur des canaux de telle ampleur.

1.2. Enjeux de cohérence : approche concertée pour la conception

Un groupe de travail concernant l'étanchéité a été constitué, regroupant les auteurs de cette publication, qui sont : les maîtres d'œuvre des secteurs 2, 3, 4 et écluses, le maître d'ouvrage et son assistant (AMO). L'objectif du groupe est, notamment, de définir des règles de conception communes et de favoriser la cohérence entre les secteurs en anticipant les difficultés liées aux interfaces. Les expériences complémentaires des membres du groupe de travail, acquises dans des disciplines différentes, telles que les grands barrages, les ouvrages hydrauliques, les terrassements routiers ou les installations de stockage de déchets, ont été sources de richesse, au-delà des premières difficultés culturelles qu'il aura fallu surmonter. À titre d'illustration, la première étape a consisté à redéfinir une terminologie commune, les mêmes mots tels que « auscultation », « renforcement » ou « drainage » ne recouvrant pas les mêmes concepts dans le monde des barrages et dans celui du stockage de déchets.

Des notes communes ont été produites et ont ensuite été déclinées par chaque maître d'œuvre pour son propre secteur. Elles couvrent les principes généraux de conception d'étanchéité et de protection.

Les difficultés qu'il aura fallu lever et les questions en suspens concernent :

- le manque de retour d'expérience sur l'utilisation des matériaux géosynthétiques pour la durée de vie attendue (75 ans) dans des ouvrages linéaires et d'importances similaires,
- le choix des conceptions adaptées aux situations en (grands) déblais et en (grands) remblais,
- l'adaptation de la conception aux exigences de développement durable dont la prise en compte du bilan carbone, de protection des nappes, de gestion optimisée des volumes de déblais et de contraintes d'exploitation,
- la conception de la protection de l'étanchéité, en plafond comme en talus, sous des sollicitations très singulières et peu documentées,
- les méthodes de contrôle pendant la pose ou à la réception,
- les dispositifs d'auscultation et de surveillance à mettre en place,
- la réparabilité et la maintenance,
- la cohérence et les raccordements entre les différentes solutions (définis ultérieurement).

Ces enjeux sont explicités dans la suite du document.

2. Manque de retour d'expérience récent en canaux et longue durée de vie

Le cahier des charges du Maître d'Ouvrage impose une durée de vie minimale de l'étanchéité de 75 ans, l'ouvrage étant prévu pour une durée de service supérieure à 100 ans, conformément à l'état de l'art sur les grands ouvrages de Génie Civil (barrages, tunnels) et en cohérence avec l'ampleur de l'investissement.

Dès lors, les retours d'expérience de ce type d'ouvrages ont été examinés. Le dernier grand canal navigué, le Canal du Nord, a été construit en France il y a plus de 50 ans en 1960. Le bief du canal de Niffer, plus petit, a quant à lui été réalisé dans les années 1990. De même, peu de sections importantes ont été réalisées en Europe récemment.

Soucieux de l'efficacité et de la performance attendue et en conformité avec les principes du Développement Durable, nous avons cependant fait le choix d'une conception faisant notamment appel aux matériaux géosynthétiques, bien qu'ils n'aient pas, stricto-sensu, un retour d'expérience si important. Pour cela, les études réalisées sur le vieillissement des matériaux géosynthétiques ont été déterminantes ; les mécanismes de vieillissement, notamment des géosynthétiques bentonitiques et des géomembranes PVC-P et bitumineuses élastomères y sont bien identifiés (Bannour et al., 2013 ; Benchet et al., 2011 ; Bory et al., 2019 ; Cazzuffi et al., 2011 ; Touze-Foltz et al., 2011 et 2015).

Ces études nous ont permis de vérifier que ces géosynthétiques, dès lors qu'ils sont formulés et fabriqués rigoureusement et que la conception et la mise en œuvre sont pertinentes, se comporteront de manière satisfaisante pendant la durée de service. Le choix final des produits géosynthétiques devra faire l'objet de discussions et de l'implication des fabricants et des applicateurs.

Les solutions naturelles à base de limons, traités ou non à la bentonite, ont également été étudiées et validées par le biais d'une étude dédiée en laboratoire et sur le terrain. Elles seront donc également utilisées sur le tracé et permettront la réutilisation, en étanchéité en plafond, d'une partie des matériaux de déblais.

Enfin, les bétons bitumineux seront également utilisés sur les secteurs 2 et 4 où de grands linéaires rectilignes et continus permettent d'utiliser cette solution industrialisée. Les enrobés pourront être mis en œuvre en talus, en combinaison avec les limons utilisés en plafond, une géomembrane bitumineuse assurant la jonction.

3. Les grands principes de conception selon les configurations (déblais et remblais)

Le programme fonctionnel du CSNE fixe un débit de prélèvement maximum annuel moyen de 1,2 m³/s entre les écluses de Noyon et d'Oisy-le-Verger, ce qui correspond à un facteur de sécurité proche de 1,2 dès lors que la conductivité hydraulique attendue doit être au moins équivalente à celle d'une couche de 40 cm d'épaisseur à $k < 10^{-8}$ m/s.

Pour couvrir l'ensemble de ces incertitudes, aléas et difficultés, nous avons retenu, au stade de la conception, une solution de performance au moins équivalente à une couche d'étanchéité de 40 cm et de conductivité hydraulique de 10^{-9} m/s.

Le débit de fuite maximal admissible à la mise en eau étant établi pour la totalité du linéaire, il sera nécessaire de le répartir sur chaque tronçon de l'ouvrage, en prenant notamment en compte leur longueur.

Il est admis que les linéaires de section courante pour lesquels le niveau moyen de la nappe sera supérieur au niveau normal de navigation du canal ne feront pas partie des tronçons pour lesquels un débit de fuite maximal admissible sera déterminé. Dans ces tronçons, la structure d'étanchéité devra néanmoins permettre de limiter les échanges entre la nappe et le canal.

Sur chaque tronçon les configurations de conception ont pris en compte :

- l'existence d'un classement réglementaire du remblai ou d'un risque résiduel inacceptable conséquence d'un défaut d'étanchéité (exemple : risque d'instabilité) : dans ce cas, la mise en place d'un dispositif d'auscultation et d'alerte est nécessaire ;
- la profondeur de la nappe et la conductivité hydraulique du substratum sous le dispositif d'étanchéité ;
- les situations pour lesquelles la mise en place d'un dispositif d'auscultation et d'alerte n'est pas nécessaire, si l'ensemble des situations suivantes sont réunies :
 - l'ouvrage n'est pas classé ;
 - aucun risque résiduel inacceptable n'est identifié ;
 - la profondeur de la nappe et la conductivité hydraulique du substratum ne sont pas de nature à générer un débit de fuite supérieur à l'objectif.

Les sections courantes du CSNE peuvent être découpées en tronçons de configuration homogène vis-à-vis des enjeux et de la conception. Les différents types de configuration suivants sont proposés pour prendre en compte les différentes géométries et leur environnement :

- Type 1 : Grands remblais. Hauteur entre la crête du remblai et le TN (Terrain Naturel) ≥ 20 m ou Hauteur entre le plafond et le TN ≥ 14 m.
- Type 2 : Moyens remblais. Tous les remblais avec hauteur entre le plafond et le TN comprise entre 14 m et 2 m.
- Type 3 : Petits remblais. Tous les remblais avec hauteur du plafond par rapport au TN inférieure à 2 m. Pour ce type d'ouvrages, le plafond du canal est très proche du TN pouvant conduire à des dispositions constructives spécifiques.
- Type 4 : Profil mixte. Hauteur entre la crête du remblai et le TN < 5 m. Le plafond du canal est situé au-dessus du niveau moyen de la nappe.
- Type 5 : Déblais. Tronçons de canal entièrement en déblai avec plafond situé entre -5 m et -16 m/TN
 - 5a : plafond situé au-dessus du niveau moyen de la nappe et dans des formations perméables ;
 - 5b : plafond situé au-dessous du niveau moyen de la nappe ou sur des formations peu perméables d'épaisseur suffisante.
- Type 6 : Grands déblais avec plafond situé à plus de 16 m de profondeur
 - 6a : plafond situé au-dessus du niveau moyen de la nappe et dans des formations perméables ;
 - 6b : plafond situé au-dessous du niveau maximum historique de la nappe ou sur des formations peu perméables d'épaisseur suffisante.

La figure 2 schématise la démarche de choix des solutions en fonction du type de configuration.

4. Mise en application des principes du Développement Durable dans la conception

Le projet est réalisé selon une démarche d'écoconception, pour optimiser la performance environnementale du projet.

Cette démarche se mesure à partir d'indicateurs précis tels que les emprises sur les zones boisées, le nombre d'espèces protégées, l'impact climatique, etc.

Ces impacts seront réduits autant que possible et feront l'objet de compensations travaillées avec les territoires. Sur l'ensemble du projet, ce sont environ 700 ha de compensations écologiques qui sont prévus via la conservation, la restauration et la création de zones humides (ouvertes ou boisées), de milieux ouverts secs et de boisements.

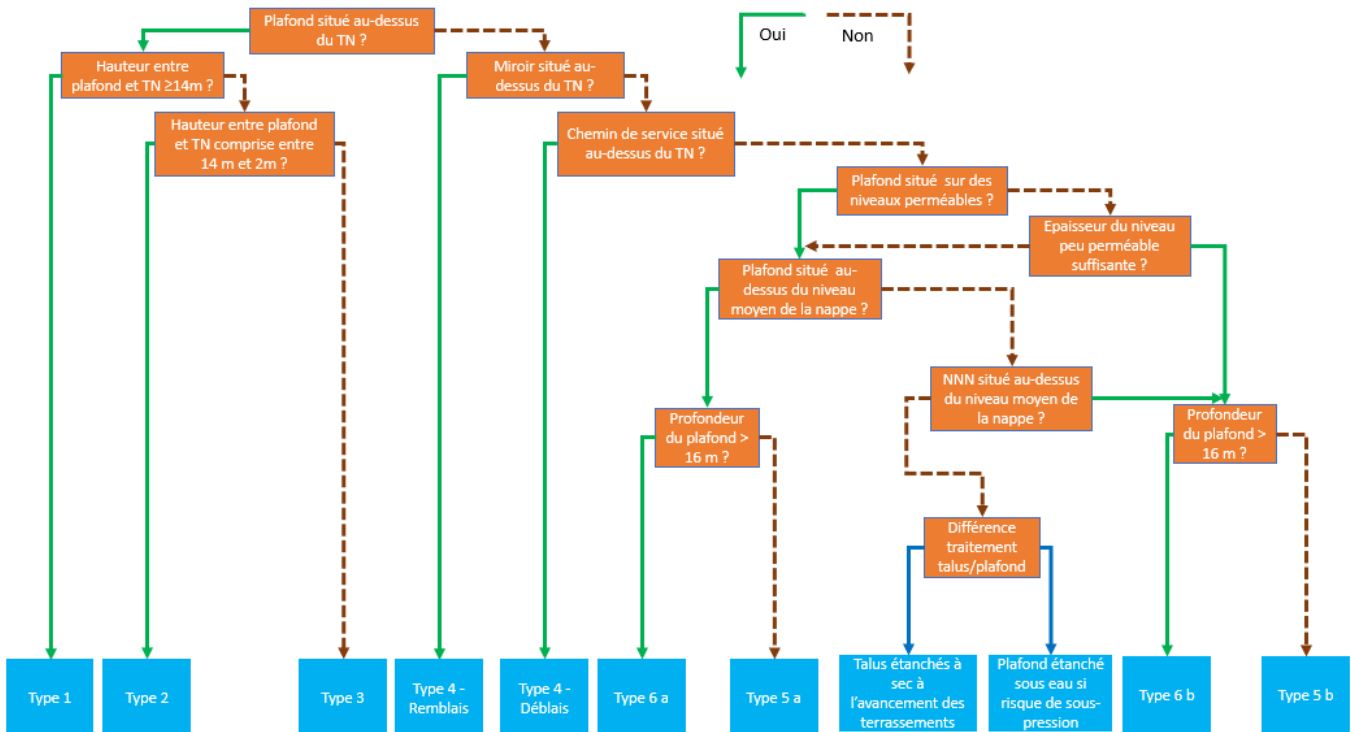


Figure 2. Logigramme pour la définition des types de configuration

Le Maître d’Ouvrage ambitionne la création d’un canal vivant mais frugal, s’intégrant harmonieusement dans les paysages qu’il traverse et dessert, et respectueux de l’environnement et des milieux aquatiques :

- le projet comprend ainsi des aménagements écologiques spécifiques dont 25 km de berges lagunées et 17 hectares d’annexes hydrauliques. Ils permettent le développement de différentes espèces animales et végétales et jouent le rôle de « poumon vert » du canal ;
- en matière d’environnement et d’énergie, il est bien entendu que la réutilisation des matériaux du site est une priorité, sachant que l’ouvrage est très excédentaire en déblais. Des zones de dépôt provisoire et/ou définitif seront spécifiquement aménagées. Les solutions de réalisation des étanchéités et des protections favoriseront la réutilisation des matériaux du site dans la mesure où ils permettent d’atteindre les performances ;
- la conception des ouvrages respecte l’harmonie avec l’architecture des ouvrages existants. Les caractéristiques architecturales et paysagères qui régiront la réalisation du canal tiennent compte des spécificités locales. Elles feront l’objet d’une concertation avec les populations ;
- en ce qui concerne les nappes, les études hydrogéologiques réalisées ont permis de définir des perméabilités à rechercher afin de limiter les échanges entre le canal et les nappes. S’il paraît évident de rechercher des solutions limitant les échanges d’eau entre le canal et les nappes à des fins de performance, l’inverse est également vrai car le maintien du niveau des nappes est requis pour préserver la qualité des ressources en eau (forages AEP ou agricoles) et la bonne fonctionnalité des zones humides ;
- en complément, le Bilan Carbone du projet a été réalisé et sera mis à jour régulièrement : il constitue un critère de choix des matériaux et des solutions retenus.

Ces exigences sont intégrées dans la conception des dispositifs d’étanchéité.

5. Exemples de solutions retenues au stade de l'avant-projet

Les figures suivantes présentent deux exemples de conceptions qui illustrent la réutilisation des matériaux du site (figures 3 et 4) et l'usage de bétons bitumineux (figure 4).

Sur la figure 3 est présentée une coupe type du dispositif d'étanchéité et de protection d'un tronçon de section courante du canal en remblai, présentant notamment un enjeu important en matière de sécurité publique. Les déblais de terrassements sont réemployés à la fois dans la structure d'étanchéité, en plafond, et dans la structure de protection, en talus, sans pénaliser le bilan déblais-remblais, puisque ces matériaux participent à la géométrie de l'ouvrage. En plafond, cette coupe fait figurer le réemploi de matériaux Limoneux d'Étanchéité de Sécurité (LES) en association avec une géomembrane, assurant le rôle d'étanchéité de performance, en application du concept d'étanchéité combinée. Cette structure est surmontée d'une couche de craie traitée assurant le rôle de protection mécanique. En talus, le concept d'étanchéité combinée est également décliné, mais fait appel à un Géosynthétique Bentonitique (GSB) calcique à la place de la couche de LES, qui a été considérée plus difficile à mettre en œuvre en talus en interface avec les remblais courants. La protection de l'étanchéité en talus est assurée par une couche de limons traités aux liants sur une épaisseur horizontale de 2,5 m environ, correspondant à la largeur minimale de travail des engins de chantier et à l'épaisseur considérée comme suffisante pour protéger l'étanchéité d'un choc de bateau (épaisseur orthogonale au talus voisine de 1 m).

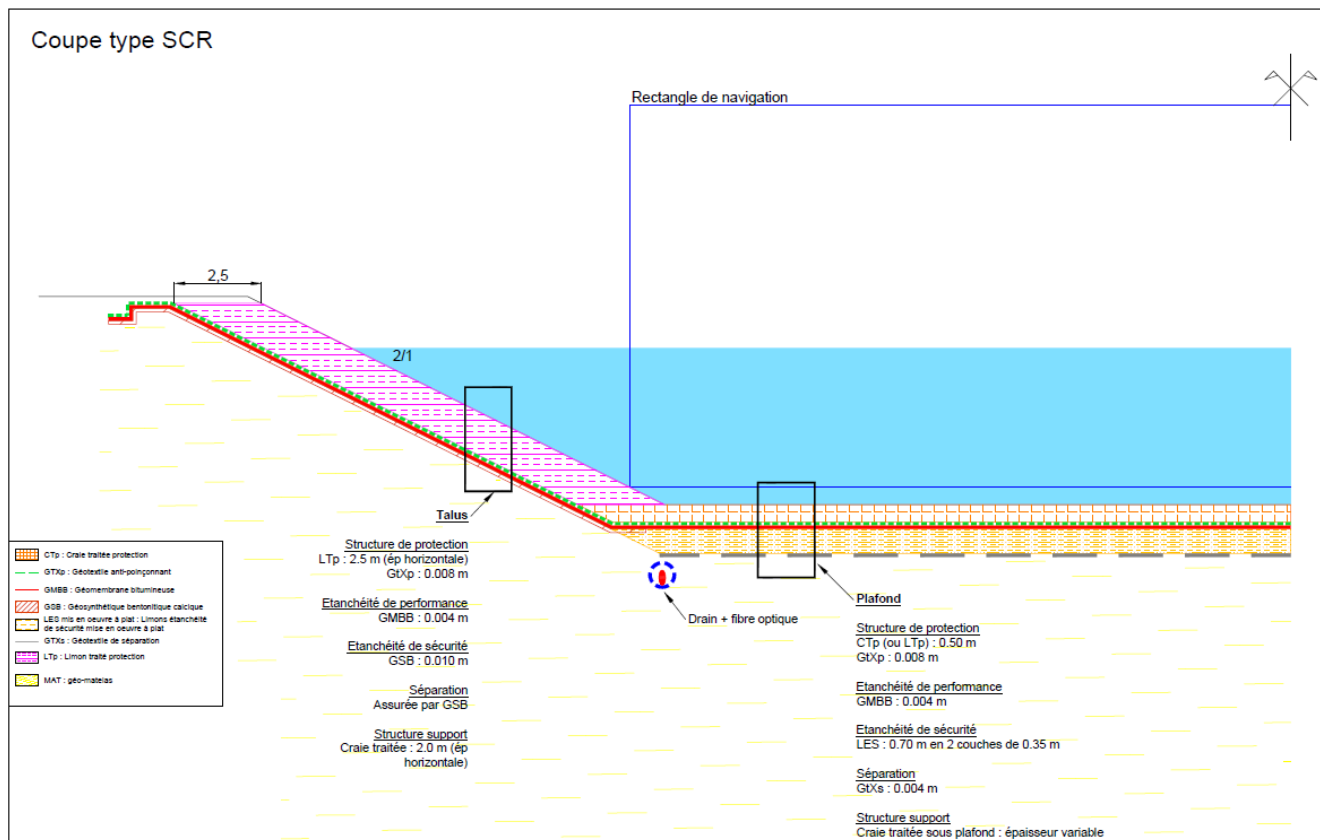


Figure 3. Exemple de dispositif d'étanchéité combinée (d'après AVP secteur 3)

Sur la figure 4 est présentée une coupe type du dispositif d'étanchéité et de protection d'un tronçon de section courante (remblai/profil mixte ou déblai) du canal, à base de béton bitumineux (BB semi grenu en couche de base ; BB étanche 6 cm et Grave Bitume de 10 cm en protection).

En plafond, la 2^{ème} partie de la coupe fait figurer la solution d'étanchéité à base de limons de type A1 (avec ajout de bentonite) ou A2, surmontée d'une couche de limons traités à la chaux et au ciment.

Cela permet d'économiser en termes d'approvisionnement de matériaux et de privilégier le réemploi des matériaux de déblais. Cette solution (plus épaisse que la solution BB) présente des limites économiques en zone de déblai. En talus, le concept d'étanchéité demeure en béton bitumineux pour résister aux sollicitations liées au battillage ; d'autres solutions sont également examinées. Le raccord entre les limons de plafond et le béton bitumineux de talus est assuré à l'aide d'une géomembrane bitumineuse.

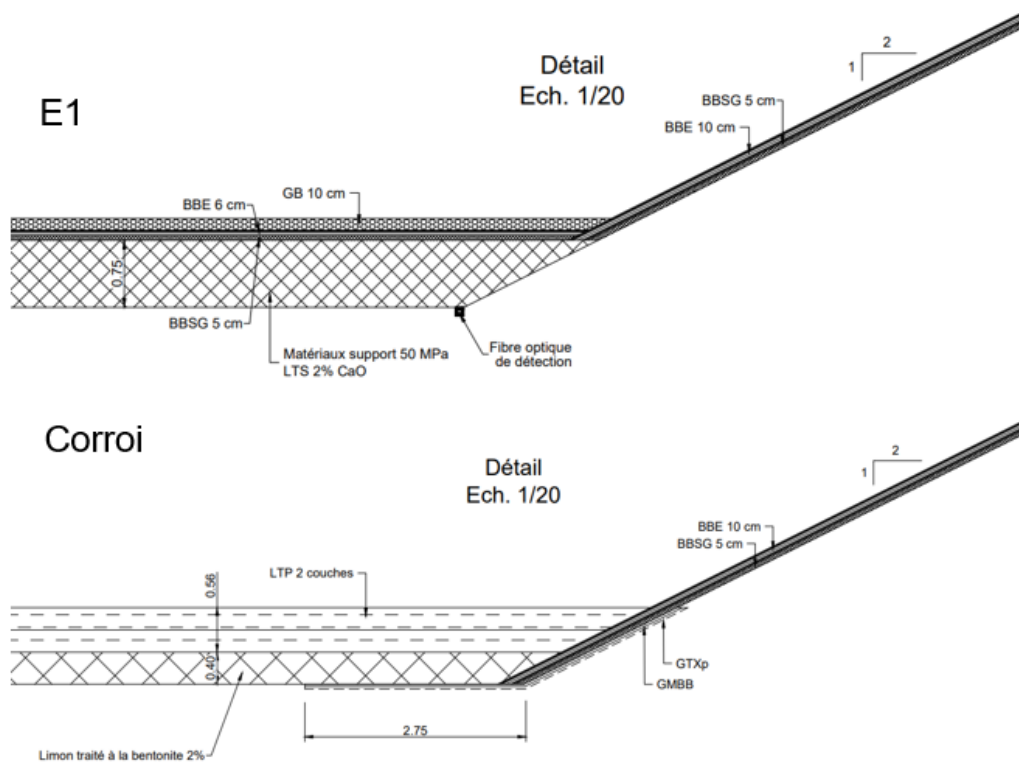


Figure 4. Exemples de dispositif d'étanchéité en enrobés E1 ou en limons avec géomembrane d'interface

6. Conception de la protection

Le traitement des sols est une technique maîtrisée dans le domaine des grandes infrastructures linéaires depuis plusieurs décennies. Elle a été mise au point dans le domaine des terrassements routiers puis a été étendue à d'autres domaines : plateformes, voies ferrées, chaussées et ouvrages hydrauliques. Dans le cadre du CSNE, le traitement des sols est envisagé pour la constitution des structures d'étanchéité (cas des étanchéités combinées) comme pour leur protection.

Si, dans le domaine routier, la couche traitée est généralement seule, avec des objectifs de performances normalisés en fond de couche, les spécificités pour le CSNE sont :

- la mise en œuvre en plusieurs couches qui doivent être parfaitement jointes ;
- l'absence de performance normalisée et de retour d'expérience dans un tel contexte ;
- des performances à définir en partie supérieure de couche, permettant de résister aux courants liés à la navigation et aux chutes d'ancres, notamment ;
- la partie supérieure de la couche en contact permanent avec l'eau du canal.

Les épaisseurs de couches de protection en sols traités en plafond peuvent être réduites aisément car il s'agit de mettre en œuvre des couches horizontales. Cependant, en talus, ces épaisseurs restent à définir en fonction de la technique de mise en œuvre : couches horizontales potentiellement épaisses et retaillées ou régalez sur le talus en couches minces.

Pour tester ces dispositions et aider à la conception, le Maître d'ouvrage a lancé un marché d'essai de corroi d'étanchéité (couche d'étanchéité et couche de protection) utilisant les limons et la craie disponibles sur site. Ce marché a été décomposé en plusieurs étapes :

1. prélèvement et identification des matériaux limoneux, silteux ou argileux, crayeux et, en parallèle, examen des études existantes sur les limons traités ;
2. essais en laboratoire de traitement de ces matériaux avec ajouts de bentonite, kaolinite et liants hydrauliques avec ou sans chaux, pour simuler les conditions de chantier ;
3. réalisation de planches d'essais in situ en avancement progressif :
 - a. étanchéité sur limons argileux, avec variation de l'épaisseur et de la teneur en chaux,
 - b. étanchéité sur limons silteux,

- c. protection en limons et en craie traités aux liants hydrauliques ;
- 4. réalisation de ces mêmes natures de couches en limons sur talus, en parallèle à la pente ;
- 5. réalisation de digues périphériques pour former des bassins ;
- 6. mise en eau pour vérifier le comportement dans le temps.

Les résultats obtenus confirment le bon comportement des limons A1 et A2 :

- traités à la bentonite seule, si nécessaire, en couche d'étanchéité,
- traités aux liants hydrauliques en couche de protection, celle-ci pouvant également être réalisée en craie traitée aux liants.

Le groupe de travail a analysé les actions liées à la navigation et l'intensité des sollicitations correspondantes sur le dispositif d'étanchéité : elles sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Sollicitations liées à la navigation et permettant le dimensionnement de la protection

Actions	Intensité de la sollicitation
Jets d'hélice/propulseur d'étrave en talus	Faible à important
Jet d'hélice au plafond en navigation	Faible
Jet d'hélice au plafond au démarrage	Important si pas d'approfondissement
Batillage	Important
Impact des mouvements des Ducs d'Albe sur l'étanchéité	Faible
Collisions de navires avec le talus	Énorme
Jets d'étraves en talus avec dégâts visibles	Important
Chute d'ancre en plafond	Important
Chute d'objet lourd et non flottant	Important
Chute de container	Faible
Naufrage	Important
Chocs sur GC vertical ayant un impact sur l'étanchéité	Faible à important

À partir de ces sollicitations, plusieurs solutions de protection ont été proposées, en fonction des zones concernées ; elles comprennent :

- 50 à 100 cm de limons ou de craie traités,
- 10 cm d'enrobé bitumineux,
- 70 cm d'enrochements ou gabions,
- un matelas en géosynthétiques remplis de béton, de 20 cm d'épaisseur.

7. Contrôle à la pose et à la réception

Les géosynthétiques d'étanchéité et les couches de matériaux naturels traitées afin d'assurer une fonction d'étanchéité seront contrôlés pendant la mise en œuvre par les méthodes classiques de l'état de l'art : mesures in situ de perméabilité complétées, le cas échéant, de techniques géophysiques, pour les couches en matériaux traités et de contrôles de soudures en partie courante (tels que décrits dans le fascicule n°10 du CFG) pour les géosynthétiques.

Les contrôles réalisés après la mise en œuvre des géomembranes (voir figure 5) seront répartis notamment entre :

- l'« Arc Tester » ou Arc électrique, (ASTM D7953), adapté au contrôle électrique de géomembrane sèche et propre,
- l'AquaTT® (ASTM D7002) ou flaque d'eau, adapté aux géomembranes humides/ sales,
- la cloche à vide, le cas échéant.



Figure 5. Méthodes de l'arc électrique, de la flaqué d'eau et de la cloche à vide, de gauche à droite (in Cazeaux et al, 2022)

Les modalités du contrôle de réception à la mise en eau sont encore à l'étude. Les contrôles permanents en phase d'exploitation sont présentés dans le chapitre suivant.

8. Méthodes d'auscultation et surveillance pendant le service

L'objectif de détection des fuites est de permettre une intervention de réparation ciblée, en cas de pertes par infiltration excessives, mais la robustesse des conceptions proposées reste l'orientation privilégiée pour limiter au maximum les interventions.

Dans les secteurs en remblai intéressant la sécurité publique, un système de drainage doit permettre de collecter et mesurer les fuites excessives provenant du canal, le cas échéant. Ces fuites peuvent être collectées par un dispositif de drainage situé sous le dispositif d'étanchéité dont l'exutoire est un fossé drainant situé le long du pied du parement côté val du remblai. Des équipements de mesure de ces débits de drainage sont disposés régulièrement.

Le suivi du comportement hydraulique des secteurs en remblai est complété par des mesures piézométriques qui permettent de surveiller le niveau d'eau dans le remblai et sa fondation.

La localisation des fuites peut être assurée par un système de détection de fuites, par fibre optique ou par dispositif électrique permanent, installé dans les secteurs où le risque est le plus critique : joints longitudinaux entre plafond et talus, zones de jonction entre dispositifs d'étanchéité différents, zones de raccordements aux éléments rigides, etc. Afin d'illustrer de telles jonctions à risques, la figure 6 présente un exemple de raccordement aux ducs d'Albe.

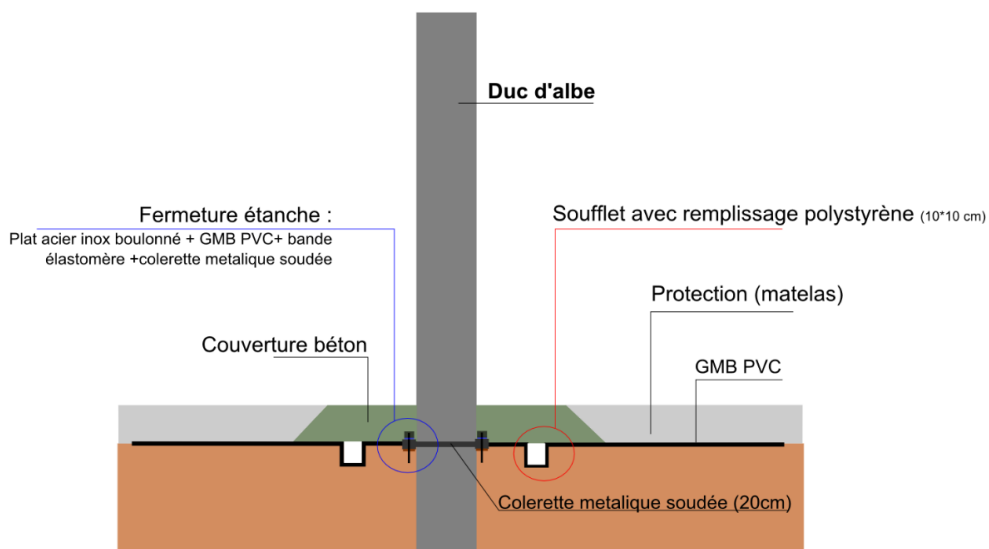


Figure 6. Détail de raccordement aux Ducs d'Albe

La détection des fuites par fibre optique repose sur la mesure active de température par fibre optique, sur le principe de la thermométrie à effet Raman. L'interprétation repose simplement sur la comparaison des valeurs de variation de température entre états du canal (plein/vide, rénové/ancien). Le rayon de détection des fuites autour du câble optique, à l'aide de cette méthode, est de l'ordre de 15 à 20 cm. Plus de détails sont disponibles dans Guidoux et al. (2018). La détection de fuites par la méthode électrique de contrôle de longue durée, permet une surveillance continue des ouvrages étanchés par géomembrane. Le procédé, utilisant des capteurs placés au droit de la géomembrane (système multi sensor), est présenté dans Weiss et Geutebrück (2014).

9. Conclusions

Le canal Seine-Nord Europe, dont l'ouverture est prévue en 2028, présente des caractéristiques et des enjeux exceptionnels liés, entre autres, à la performance et la robustesse des dispositifs d'étanchéité, à leur durée de vie attendue et au mode d'exploitation du Canal. Confrontés au manque d'expérience récente concernant des canaux d'une telle ampleur et d'une si longue durée de vie, le Maître d'Ouvrage, son assistant et les Maîtres d'œuvre des différents secteurs, se sont fédérés au sein d'un groupe de travail, afin de définir des principes communs pour la conception de la structure d'étanchéité.

Une fois validés, ces principes ont ensuite été déclinés pour chaque secteur et tronçon du canal, afin d'aboutir à l'avant-projet.

La prise en compte des enjeux du Développement Durable a guidé la conception, notamment par la prise en compte du bilan carbone, la volonté de réutilisation des déblais et la préservation de la biodiversité au travers de l'exigence d'un « canal vivant ».

Cette conception de grande ampleur intègre de nombreux matériaux géosynthétiques, dont les fonctions variées permettent de répondre à la plupart des défis posés.

10. Références bibliographiques

- ASTM D7002 Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Water Puddle Method
- ASTM D7953 Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Arc Testing Method
- Bannour H., Touze-Foltz N., Gisbert T. (2013). Débits dans une étanchéité composite géomembrane bitumineuse / géosynthétique bentonitique. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2013*, 229-238.
- Benchet R., Herisson C., Gerbaud F., Croissant D., Grivaud S. (2011). Étude sur la durabilité des géomembranes en bitume élastomère exposées sur site depuis 6 à 30 ans. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2011*, 395-404.
- Bory O., Delorme F., Tireau J., Taillade F., Vaschetti G. (2019). Retour d'expérience sur l'état de la géomembrane PVC-P du Chambon après 20 ans d'exploitation et de suivi. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2019*, 259-270.
- Cazeaux F., Gisbert T., Minet M., Froissard P., Mention J. (2022 – accepté à paraître). Essorage de boues en tubes géosynthétiques et création de deux alvéoles pour leur entreposage réversible. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2021-2022*.
- Cazzuffi D., Giroud J.P., Scuero A., Vaschetti G. (2011). Emploi des géomembranes dans les barrages : 50 ans de différentes applications dans le monde. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2011*, 11-32.
- CFG. (2017). Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes. *Comité Français des Géosynthétiques, Fascicule n°10*.
- Guidoux C., Courivaud J.R., Dubié F. et Speisser V. (2018). Exploitation d'un système d'auscultation incluant une surveillance par fibre optique des digues du Rhin entre Strasbourg et Iffezheim. *Actes du colloque CFBR « méthodes et techniques innovantes dans la maintenance et la réhabilitation des barrages et des digues », Chambéry*.
- Touze-Foltz N., Croissant D., Farcas F., Royet P. (2011). Performance hydraulique à long terme des géomembranes en bitume oxydé exposées et recouvertes. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2011*, 349-356.
- Touze-Foltz N., Farcas F., Benchet R. (2015). Évaluation du vieillissement de deux géomembranes bitumineuses de différentes natures après 15 ans en service. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2015*, 417-426.
- Weiss B., Geutebrück E. (2014). Next generation leak location in HDPE liners in landfills and other facilities of environmental risk. *Actes, 10th ICG, Berlin*.