



## CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

### MARCHÉ PUBLIC D'ÉTUDES

---

#### Etude d'un nouveau scénario de régénération de l'écluse des Fontinettes

---

**VOIES NAVIGABLES DE FRANCE**

37, rue du Plat  
BP 725  
59034 LILLE Cedex

<b>1. CONTEXTE DU MARCHE .....</b>	<b>2</b>
1.1 GENIE CIVIL DE L'ECLUSE .....	2
1.2 PATHOLOGIES DE LA TETE AVAL.....	4
<b>2. NECESSITE ET FAISABILITE D'UNE REGENERATION.....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE .....</b>	<b>6</b>
3.1 Proposition de structuration de l'étude .....	7
<b>4. PRESTATIONS PREVUES .....</b>	<b>8</b>
4.1 DETAILS DES MISSIONS .....	8
4.2 MODALITES DE REALISATION DE LA PRESTATION, HYPOTHESES PRINCIPALES .....	10
4.3 ORGANISATION DES MISSIONS .....	11
4.4 COMPETENCES A METTRE EN ŒUVRE .....	11
<b>5. PRIX &amp; LIVRABLES .....</b>	<b>11</b>
<b>6. Données mises à disposition .....</b>	<b>12</b>

## 1. CONTEXTE DU MARCHE

### 1.1 GENIE CIVIL DE L'ECLUSE

Construite de 1962 à 1967, l'écluse des Fontinettes est constituée d'un sas de 145 m de long sur 12 m de large, de deux aqueducs latéraux permettant son remplissage, d'une conduite permettant de « by-passer » l'écluse et de 4 évacuateurs vers l'étang de Batavia.

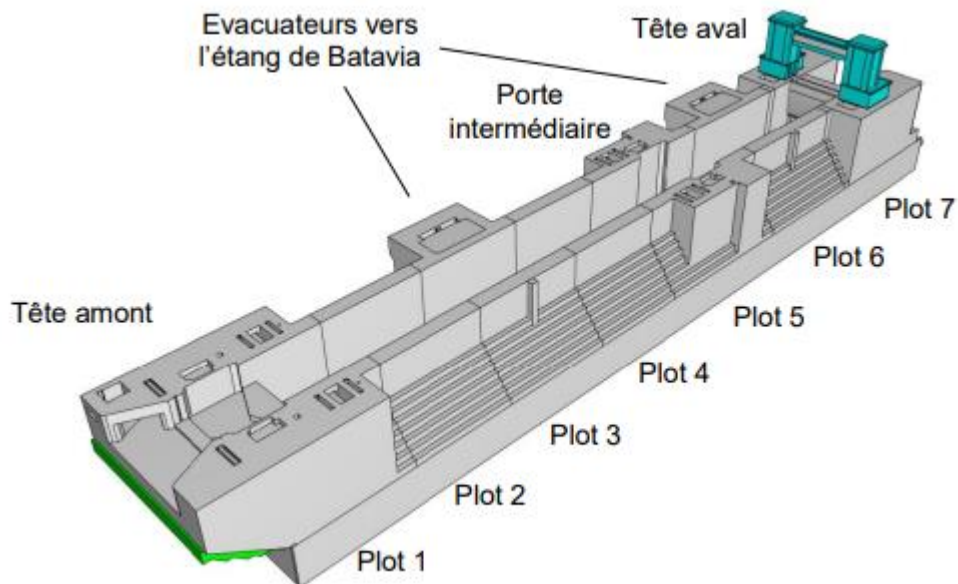
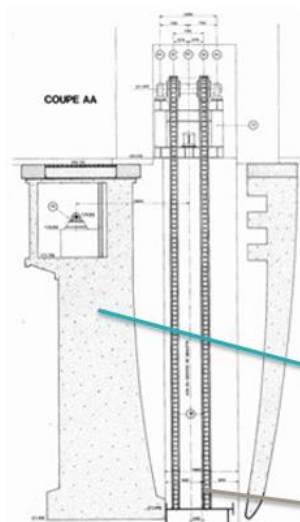


Figure 1 - - Vue générale de l'écluse, modèle 3D, ISL 2019

Le sas de l'écluse est fermé en amont par une porte busquée et en aval par une porte levante. La hauteur de chute de 13,13m est la plus importante du réseau ce qui fait de cette écluse un ouvrage particulier par sa taille et le volume d'eau qui y transite.

Le génie civil est composé de bajoyers de type mur poids en béton armé. Le mur de chute est positionné juste après la porte amont. En aval, la tête est composée d'une poutre masque et d'un voile contre masque en béton précontraint. L'ouverture libérée par la porte levante permet de libérer uniquement la hauteur libre utile au passage des péniches (soit 5,25m entre le NNN aval et la poutre masque).



Pertuis libéré par la porte levante et position du mur masque

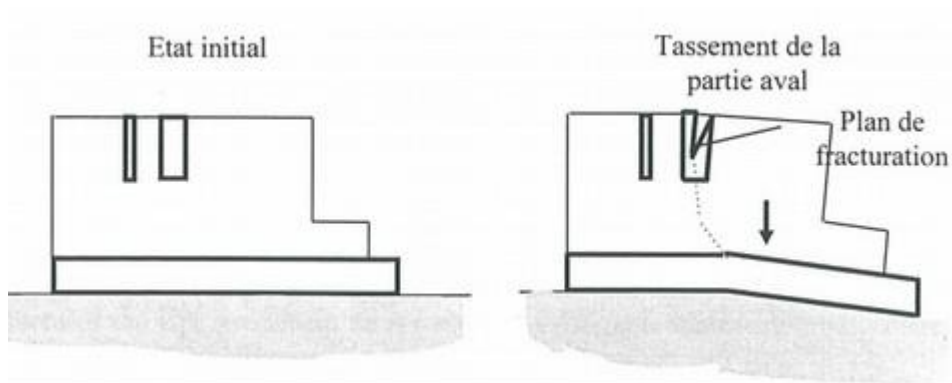
La tête aval de l'ouvrage présente différentes pathologies et des travaux de confortement et de réparation de l'écluse ont été réalisés en 1999 avec notamment l'injection de colonnes de béton sous la tête afin de la stabiliser et créer un rideau étanche pour stopper les écoulements sous l'ouvrage pressentis comme étant à l'origine du phénomène.

Ces travaux ne donnant pas des résultats satisfaisants, l'ouvrage a fait, ces dernières années, l'objet d'analyses approfondies sous l'égide d'un comité technique d'experts (voir annexe 1). Les principales conclusions sont rappelées ci-après.

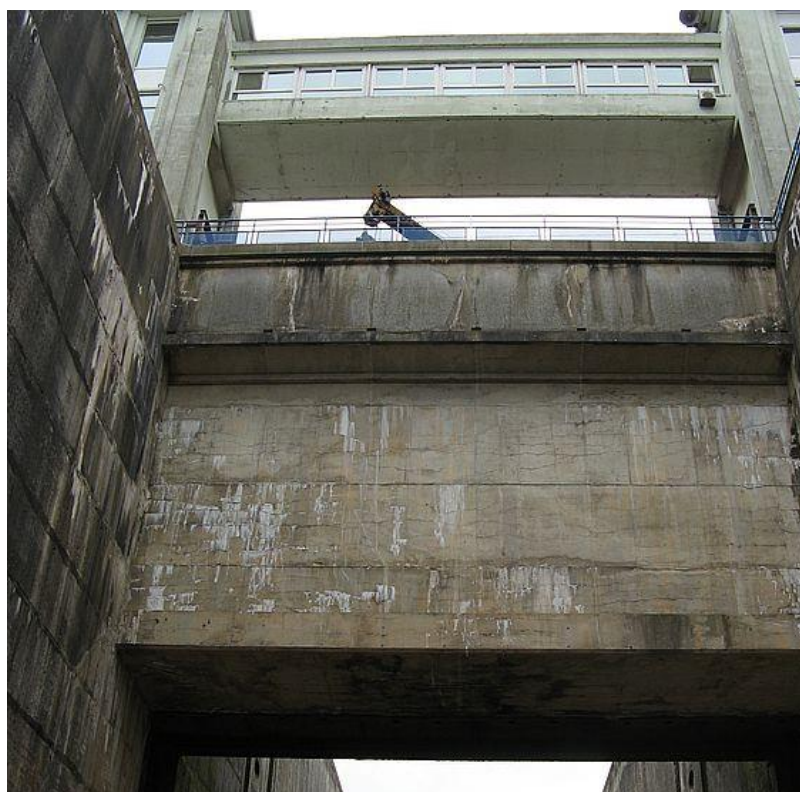
## 1.2 PATHOLOGIES DE LA TÊTE AVAL

Les deux principales problématiques sont :

### **A) Le basculement de la tête aval vers l'aval**



### **B) Des phénomènes de gonflement du béton constituant la poutre masque**



Les réactions de gonflement du mur masque identifiées partiellement dès 1996 sont attribuées à la présence d'une réaction sulfatique interne « à cœur » qui a été le moteur d'efforts de gonflement très importants. Cette réaction a ainsi provoqué un gonflement du masque et a détruit le monolithisme de l'ensemble des bajoyers de la tête de l'écluse, par fracturation, suivant un plan vertical (sensiblement au droit du mur

masque). L'expertise permet ainsi d'établir que la cinématique du mouvement des bajoyers et les réactions chimiques du mur masque sont quelque peu imbriquées.

Les mouvements de basculement de la tête aval sont anciens et continus depuis plus de 25 ans (malgré les travaux de 1999).

A la suite de l'ouverture des fracturations des bajoyers, la résistance du sol au glissement a été rapidement et intégralement mobilisée. Après quoi le basculement a suivi une cinématique qui lui est propre du fait de l'érosion continue du sol de fondation. Cette érosion a pu se trouver facilitée par les fuites importantes repérées au droit du joint n°6 et qui n'avaient pas pu être réparées en 1999 mais ce n'est pas la seule explication plausible. Une fiche hydraulique insuffisante est identifiée comme facteur. Les confortements lourds, par Jet Grouting, effectués en 1999 se sont avérés, en apparence, inefficaces.

En terme, d'amplitudes de tassements sous le radier, les valeurs absolues atteintes sont encore relativement faibles (centimétriques) ; cependant l'effet structural de ces mouvements est amplifié par la forme, la raideur et la géométrie (grande hauteur) du bajoyer.

Ces fracturations et les déplacements de la tête aval peuvent générer à « moyen/long terme » un risque d'une indisponibilité des aqueducs de transfert d'eau ou des dégradations du génie civil à proximité des organes mécaniques d'autant que les phénomènes d'érosion peuvent évoluer plus rapidement à partir d'un certain seuil.

## 2. NECESSITE ET FAISABILITE D'UNE REGENERATION

Toutes ces analyses concluent à un risque d'avarie à moyen terme, qui entrainerait une interruption de la navigation dont la durée serait nécessairement longue et non maîtrisée. Compte tenu de l'importance stratégique de cet axe desservant le port de Dunkerque et du fait qu'il n'existe aucune alternative fluviale en cas d'indisponibilité de l'écluse des Fontinettes, les conséquences d'une interruption de trafic serait dramatique sur l'exploitation et la confiance des usagers sur ce mode de transport.

Ces considérations conduisent VNF à étudier puis à mettre en œuvre une solution de confortement de la tête aval (ou plus généralement du bloc aval, ou autre), dont l'objectif est de permettre une stabilisation des mouvements et de reconstituer la durée de vie de l'ouvrage..

Une première étude de faisabilité, basée sur une solution de confortement du plot n°7 visant à faire transiter progressivement l'ensemble des charges sollicitant ce plot vers des fondations profondes, a été confiée au bureau d'études Tractebel en 2022. Cette solution ne comportait pas de traitement des phénomènes d'érosion ni de confortement des fondations par injection.

Dans son premier élément de mission (M1 – note d'hypothèses), Tractebel a mené une analyse des données disponibles et du comportement pathologique de l'ouvrage, puis a défini les hypothèses de cette solution de confortement. (Voir annexe 2)

Dans son étude, Tractebel a pointé le mécanisme d'érosion interne des sols constitués de sables limono-argileux, situés sous la fondation superficielle des plots de l'écluse (en particulier de la tête aval), et a proposé dans sa conception du confortement de réaliser **un écran étanche et continu** afin d'arrêter ces phénomènes d'érosion.

Dans les échanges sur cette solution de confortement, il a été suggéré une solution alternative de confortement, reprenant le principe de l'écran étanche et continu, mais comprenant **en sus des injections massives permettant de combler les vides existants et de renforcer la fondation superficielle pour qu'elle reprenne les charges.**

VNF propose d'étudier la faisabilité de cette solution alternative, objet de la présente consultation.

### 3. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE

L'étude faisant l'objet du présent cahier des charge se base sur une solution reposant sur trois principes :

- Un comblement des vides sous et en aval du radier ;
- Un renforcement de la fondation superficielle du plot N°7 de l'écluse ;
- La mise en œuvre d'un écran étanche afin de stopper le phénomène d'érosion.

Cette solution n'a pas fait l'objet d'esquisse ou d'étude préliminaire. Il reviendra au mandataire de traduire ces principes de confortement en solution chiffrée et d'y apporter une analyse critique de sa faisabilité technique et de sa pertinence.

L'étude de faisabilité devra apporter les éléments nécessaires à la maîtrise d'ouvrage pour conclure sur sa faisabilité, à savoir :

- des justifications techniques des méthodes de réalisation proposées ;
- des justifications techniques de l'emprise du confortement (emprise en plan, maillage et profondeurs des injections, etc.) ;
- des éléments de prédimensionnement de la solution proposée ;
- les contraintes et limites d'exécution ;
- le phasage de réalisation et la durée des travaux ;
- l'estimation des arrêts de navigation nécessaires aux travaux et leurs durées ;
- les éléments de chiffrage des travaux.

***L'objectif visé de la régénération est de stabiliser la tête aval avec un objectif de déplacement centimétrique (en absolu comme en différentiel) une fois les confortements réalisés, au niveau du puits de la porte aval et au niveau des bajoyers de la tête aval.***

Par ailleurs, en rive droite le projet d'étude de doublement de l'écluse des Fontinettes est en cours (voir implantation illustrée en annexe 3). Il n'est pas possible à ce jour de prévoir si les travaux de confortement auront lieu avant ou après la réalisation de la nouvelle écluse. En rive gauche, une étude pour l'installation d'une station de pompage va être lancée en 2025 afin d'améliorer la gestion hydraulique du bief aval. À ce jour, son implantation n'est pas définie (elle pourra ainsi être implantée au droit de l'étang de Batavia ou en aval de l'écluse – voir annexes 4 et 5).

Le titulaire devra prendre en compte ces éléments pour notamment évaluer l'impact éventuel des travaux sur le doublement et la station de pompage que ce soit vis-à-vis de la phase travaux ou de la phase exploitation. Mais également l'impact définitif de fonctionnement du confortement sur la zone d'impact géotechnique et ses avoisinants.

### 3.1 PROPOSITION DE STRUCTURATION DE L'ÉTUDE

Dans ce cadre, les objectifs principaux de la prestation à réaliser par le titulaire sont les suivants :

- S'approprier les analyses et les études déjà réalisées, et en particulier la note d'hypothèses établie par Tractebel lors de sa mission 1 (voir annexe 2), et faire une analyse critique au regard de la solution à étudier,
- Etablir un modèle géotechnique et hydrogéotechnique adapté aux principes de confortement,
- Etablir des plans de la solution envisagée (ex : maillage de l'injection, emprise de l'écran étanche, vue en plan et coupes longitudinales/transversales),
- Etablir les justifications structurales et géotechniques permettant de justifier de la faisabilité du confortement suivant les objectifs fixés,
- Identifier et prédimensionner les ouvrages provisoires nécessaires à la réalisation,
- Approcher le phasage et le planning de réalisation, ainsi que les contraintes d'exploitation (avec une précision de  $\pm 1$  mois pour le planning)
- Fournir un ordre de grandeur des coûts associés ( $\pm 25\%$ ),
- Tenir compte des études de doublement de l'écluse en rive droite et d'implantation potentielle d'une station de pompage en rive gauche,
- Réaliser une étude de risques pour la solution étudiée et apprécier les conséquences sur le planning (par exemple : crue, surconsommation),
- Établir un programme de régénération comprenant un rapport intégrant les conclusions de l'étude technique et les objectifs fonctionnels de l'étude.

#### ***Sont exclus de l'étude :***

- Une solution qui comprendrait des démolitions majeures de parties de l'ouvrage,
- L'allongement de la tête aval,
- Des modifications des gabarits hydrauliques et de navigation.

Par ailleurs, l'étude ne tiendra pas compte du gonflement des bétons (masque et contre masque), en considérant que les déformations passées n'ont plus d'impact structurel et que les déformations futures sont faibles ou négligeables.

En termes de précision graphique, il est visé un niveau de précision graphique global équivalent à celui d'une « étude de faisabilité » cependant, suivant la nature des ouvrages, le niveau de dimensionnement (justification théorique) doit être plus poussé (niveau AVP/PRO) afin d'aboutir à un planning de réalisation crédible.

Le maître d'ouvrage dispose de nombreuses données d'investigations (géotechniques, topographiques, données d'auscultation, ...) qu'il mettra à la disposition du titulaire après notification du marché.

## 4. PRESTATIONS PREVUES

### 4.1 DETAILS DES MISSIONS

La prestation du présent marché s'organise en **trois missions** (ou « phases techniques ») :

#### **1. Mission n°1 : Appropriation des données (durée 1 mois)**

Au cours de cette phase, le titulaire :

- Analyse les données d'entrée et des dossiers de diagnostic des désordres établis préalablement,
- Analyse la note d'hypothèses de l'étude de faisabilité de confortement structurel établie par Tractebel,
- Effectue le calage des hypothèses hydrogéotechniques principales des dimensionnements,
- Propose, le cas échéant, d'éventuelles d'investigations complémentaires ; toutefois la faisabilité de ces études est à discrétion de VNF et un refus de VNF n'est pas un obstacle à la poursuite de l'étude.

Cette phase comprend à minima deux réunions :

- Lancement (présentiel)
- Restitution (présentiel)

Cette phase s'achève par la remise d'un rapport de synthèse de l'analyse, d'une note d'hypothèse et des grands principes de la solution de confortement proposé.

#### **2. Mission n°2 : Etude technique du scénario (durée 3 mois)**

La deuxième mission comprendra les étapes suivantes :

1. Esquisse sur le plan de la solution technique
  - a. Réalisation de l'étude technique et les pré-dimensionnements correspondants
  - b. Précision des données essentielles du phasage (à compléter lors de l'étape 4)
2. Analyse de la faisabilité technique de la solution et des éventuels ouvrage provisoires
  - a. Proposition de méthodologie d'exécution des différentes phases
  - b. Vérification faisabilité technique (dimensionnement et exécution) pour toutes les phases
3. Estimation de la solution technique proposée
  - a. Réalisation d'avants-métrés
  - b. Estimations des coûts des travaux
  - c. Définition de la nature des études complémentaires éventuelles requises
4. Approfondissement du phasage et incidence des autres projets sur le site de l'écluse :
  - a. Analyse de l'interface avec le doublement de l'écluse en rive droite (annexe 3) et l'aménagement d'une station de pompage en rive gauche(annexes 4 et 5)
  - b. Approfondissement du phasage (+/-1 mois) en mettant en évidence les conséquences des travaux par rapport à la mise en chômage de l'écluse

5. Pistes d'optimisations et/ou variantes
  - a. Proposition, le cas échéant, des principes de variantes (sans les étudier en détail)
6. Production d'un rapport de synthèse de la mission assorti des justifications réalisées et des différents documents graphiques utiles à la compréhension de la solution

Cette phase comprend à minima quatre réunions :

- Lancement : proposition de méthodologie
- Deux réunions d'étape avec un rendu intermédiaire partiel,
- Restitution (présentiel)

Cette phase s'achève par la remise d'un rapport intégrant tous l'éléments constitutifs de l'étude, à savoir une note technique, des pièces graphiques, des justifications de calcul, un tableau détaillant les coûts du scénario envisagé et le cas échéant les variantes proposées.

### **3. Mission n°3 : Établissement du programme de la régénération (durée 2 mois)**

Au cours de cette mission, le titulaire élabore le programme de régénération sous la forme d'un rapport technique reprenant les conclusions de la mission 2 et intégrant les objectifs fonctionnels avec en annexes :

1. Plans détaillés (avant et après travaux),
2. Définition d'une programmation des reconnaissances et suivis nécessaires à l'établissement des études,
3. Un chiffrage financier intégrant les phases de conception et de réalisation ainsi que les différentes études préalables ou de contrôle pour l'ensemble de l'opération,
4. Un planning global ordonnancé de l'opération qui comprendra toutes les phases d'études (MOE) et d'exécution en tenant compte du calendrier prévisionnel des travaux de doublement et de de la station de pompage ainsi que des investigations complémentaires à mener,
5. Détail des études de risques et les conséquences sur le planning ou les dispositions techniques.

**Le programme proposé constituera la base de référence pour la mission de maîtrise d'œuvre qui sera initiée à l'issue de cette étude.**

Cette phase comprend à minima deux réunions :

- Lancement
- Restitution (présentiel)

## 4.2 MODALITES DE REALISATION DE LA PRESTATION, HYPOTHESES PRINCIPALES

Il est impératif de tenir compte de l'état fracturé actuel des bajoyers de l'écluse (ensemble du génie civil existant après la réparation de 1999 y compris colonnes de Jet-Grouting) et de tenir compte du phasage des travaux de régénération proprement dits.

Il n'est pas demandé de tenir compte du phasage de réalisation ou de réparation de l'écluse existante ni des pathologies structurales de type « gonflement interne des bétons » (supposées achevées).

Il est possible que le besoin de confortement s'étende au-delà du plot n°7. Des adaptations pour les ouvrages existants sont admises si leur intérêt est démontré.

Un pré-dimensionnement des ouvrages provisoires et définitifs est attendu (ouvrages GC et géotechniques).

Par pré-dimensionnement, on comprend : la justification d'une emprise et d'un maillage d'injection, la justification des écoulements sous et autour de l'écluse, la justification hydraulique des écrans, de la stabilité des ouvrages en phases provisoires ou définitive, l'estimation des déplacements, les vérifications de portance des fondations.

Ces justifications impliqueront une modélisation numérique des écoulements hydrauliques en trois dimensions du barrage-écluse. Il sera fourni au prestataire un modèle Autocad 3D de l'ensemble de l'écluse. Il n'est pas prévu de relevés in-situ.

La méthode de réalisation des ouvrages sera analysée de façon pertinente en fonction des contraintes du site, et notamment de la stabilité des ouvrages avoisinants. Le phasage de réalisation des travaux intégrera le phasage de réalisation des ouvrages géotechniques (provisoires et définitifs). Une attention particulière sera portée à l'identification des phases provisoires dimensionnantes.

Les modalités de surveillance de l'écluse en phase travaux seront abordées (principes et points sensibles). L'intégration des vantelleres est nécessaire pour déterminer leur impact sur le génie civil (poids et efforts hydrauliques) mais il n'est pas prévu de les modéliser de façon spécifique.

L'écluse sera étudiée suivant ses différents états de fonctionnement en service et en chômage et suivant les différentes phases de travaux si cela est pertinent.

Les hypothèses géotechniques (modèle géotechnique) seront issues des documents d'archives fournis par VNF issus de différentes campagnes d'investigations menées. L'étude se fera suivant différentes hypothèses du niveau de nappe telle qu'elles ressortent de l'analyse piézométrique qui sera fournie au démarrage des études.

Le modèle géotechnique sera établi en liaison avec le Cerema qui réalise l'AMO technique sur ce projet.

D'une façon générale tous les calculs des ouvrages seront réalisés suivant les règles Eurocodes et se conformer aux règles de l'art en vigueur comme les guides CFBR.

#### 4.3 ORGANISATION DES MISSIONS

Les réunions en présentiel auront lieu à Lille ou à St Omer à la discrétion de VNF. Les autres réunions auront lieu en visio-conférence. À noter que toutes les synthèses visuelles interactives exposées en réunion seront à transmettre 5 jours ouvrés avant ladite réunion. De plus, les comptes rendus de réunion et relevés de décisions seront à diffuser 1 semaine à compter de la date de réunion.

À chacune de ces réunions, le Directeur d'étude devra être présent. D'autres membres de l'équipe dédiée pourront être convoqués en fonction du besoin.

Le prestataire s'engage à organiser et à participer à un minimum de réunions au cours des missions (voir article 4.1). Si, pour le parfait achèvement de ces dernières, un nombre supérieur de réunions s'avère nécessaire, celles-ci seront réputées incluses dans le forfait convenu. Elles ne pourront donner lieu à une rémunération complémentaire. Il est précisé que toutes ces réunions seront organisées en visioconférence.

Le maître d'ouvrage se réserve 2 mois de délai à l'issue des réunions pour fournir son avis et valider ou non les hypothèses ou la mission (partie technique correspondante) correspondante.

Les délais sont suspendus lors des périodes de relecture des rendus par VNF et reprennent à l'envoi de l'ensemble des observations par VNF (voir détail dans le CCAP).

#### 4.4 COMPETENCES A METTRE EN ŒUVRE

La prestation sera conduite et dirigée par un ingénieur de niveau « Directeur d'études » ayant une expérience minimale de dix années en conception, calcul, recalcul et expertises de génie civil (y compris ouvrages hydrauliques).

Le Directeur d'étude sera assisté par un ingénieur géotechnicien ayant au moins 6 ans d'expérience sur des prestations d'ingénierie de même nature.

Les calculs et modélisations seront supervisées par un chef de projet ayant au moins 6 ans d'expérience sur des prestations d'ingénierie de même nature.

#### 5. PRIX & LIVRABLES

Les prestations sont rémunérées sur la base d'un prix forfaitaire par mission (ou partie technique) définies précédemment. Les prix comprennent toutes les prestations et frais nécessaires au complet achèvement des missions y compris réunions rendues nécessaire pour la bonne exécution de la prestation.

Les documents seront remis sous forme numérique aux formats Word, Excel, Autocad, Powerpoint et tous formats d'images usuels. Une version papier des versions des livrables validées sera également remise sur demande du MOA.

## 6. DONNÉES MISES À DISPOSITION

L'ensemble des documents mis à disposition à l'ensemble des candidats sont repris ci-dessous :

N° d'annexe	Désignation	Auteur	Année de réalisation
01	Analyse technique – Expertises techniques portant sur la régénération et le projet de doublement/allongement de l'écluse	CEREMA	2020
02	Note d'hypothèse Régénération Écluse des Fontinettes	TRACTEBEL	2023
03	Implantation du projet de doublement de l'écluse des Fontinettes	ISL	2024
04	Implantation du projet de la station de pompage depuis batavia	TRACTEBEL	2023
05	Implantation du projet de la station de pompage depuis aval de l'écluse des Fontinettes	ISL	2023

En sus, d'autres documents seront disponibles au titulaire après notification du marché (le modèle géométrique 3D, toutes les données relatives aux reconnaissances géotechniques, les rapports d'auscultation, les plans de l'ouvrage, ...)