

TRAVAUX DE REOUVERTURE ET DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DE LA VERSE DE BEAUGIES A L'ECHELLE DE LA COMMUNE DE GUISCARD

Maîtres d'Ouvrage



Entente Oise Aisne, EPTB
11 cours Guynemer
60200 Compiègne

Document établi par



INGETEC

135 Allée Paul Langevin, Immeuble Faraday
BP-66
76233 BOIS GUILLAUME CEDEX

Référence, auteur et archivage du document

Référence	9620-Note Complémentaire
Auteur	Nazila JAVANSHIR - Responsable du pôle Hydraulique / Rivière
Archivage	G:\OPER9600\9620\1\Documents\Rapport\TC1-Modélisation\9620-1_Rapport_Modélisation_note complémentaire-VersionB.docx

Contrôle interne et suivi des modifications

Contrôle	Date :	Par :	Visa :
Auto-contrôlé	08/11/18	Nazila JAVANSHIR - Responsable du pôle Hydraulique / Rivière	
Vérifié et présenté	08/11/18	Nazila JAVANSHIR - Responsable du pôle Hydraulique / Rivière	
Approuvé	08/11/18	Nicolas BAUDUFFE - Directeur	

Version	Date	Nature des modifications
A	10/10/18	
B	08/11/18	

2

Note complémentaire

Lors des modélisations 2015-2016, afin d'éviter tout impact hydraulique négatif du projet d'ouverture de la Verse en attendant la réalisation de l'ouvrage de Muirancourt, une première solution avait été proposée. Celle-ci correspondait au remplacement du seuil sous la rue du Château par une plaque en intégrant :

- Une ouverture de fond dédiée au passage d'un débit normal et donc assurant la continuité hydroécologique du cours d'eau ;
- Une surverse au-dessus de la plaque permettant le passage du débit excédentaire lors des crues importantes

Cette proposition avait été écartée et remplacée par une autre solution : la conservation des deux ouvrages de franchissement sous la rue de la Reconnaissance et la RD 932. Ces deux ouvrages d'art ayant une côte de fond plus haute que le fond du cours d'eau, ils peuvent ainsi limiter l'impact du projet en termes d'inondabilité vers l'aval pendant la période précédant la mise en service du bassin de Muirancourt.

Cependant, la conservation des deux ouvrages de franchissement sous la rue de la Reconnaissance et la RD 932 n'étant pas favorable au bon fonctionnement hydromorphologique de la Verse à long terme, cette solution ne peut être envisagée que dans la condition où la ZEC de Muirancourt serait réalisée, avant que les travaux de réouverture de la Verse de Beaugies (prévus de l'aval vers l'amont) n'atteignent l'ouvrage de franchissement sous la rue de Reconnaissance.

Or, suite aux diverses problématiques, la réalisation de la ZEC de Muirancourt est actuellement ajournée. C'est pourquoi l'Entente Oise Aisne a sollicité Ingetec pour reprendre la première solution (citée ci-dessus) et de la dimensionner pour des crues d'occurrence 10, 50 et 100 ans, afin d'augmenter la capacité d'écoulement de la Verse de Beaugies dans la traversée de Guiscard (après les travaux de réouverture) sans entraîner d'augmentation marquée des débits de pointe ni, par conséquent, des hauteurs d'inondation en aval.

Suite aux différents échanges concernant la stabilité ainsi que l'accessibilité, il a été retenu de placer ce frein hydraulique à l'entrée de l'ouvrage OH4 (cadre 3X2) au niveau de la fondation Berny.

La présente note, étant un complément au rapport 2016 d'ingetec, n'inclut pas les détails de ce dernier, néanmoins le logiciel utilisé et la structure du modèle sont rappelés rapidement pour mémoire.

La présente note intègre également une description détaillée du frein (caractéristiques techniques, procédure d'exécution, note de calculs de dimensionnement et de stabilisé de l'ouvrage) ainsi qu'un comparatif des coûts prévisionnels avec les solutions alternatives.

3

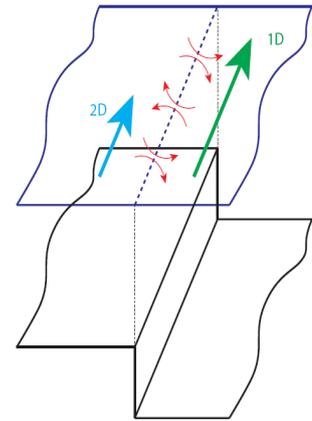
Modélisation hydraulique complémentaire

3.1 Présentation du logiciel MIKE FLOOD

La modélisation de ce complément d'étude a été réalisée à l'aide du logiciel MIKE FLOOD qui permet de coupler le modèle unidimensionnel du lit mineur avec le modèle bidimensionnel représentant le lit majeur.

MIKE FLOOD est un outil de simulation des processus hydrodynamiques, sédimentaires et de qualité des eaux. Le logiciel est basé sur le couplage dynamique des logiciels de modélisation les plus répandus de la gamme DHI :

- le modèle 1D fluvial Mike 11 ;
- le modèle 2D de surface Mike 21.



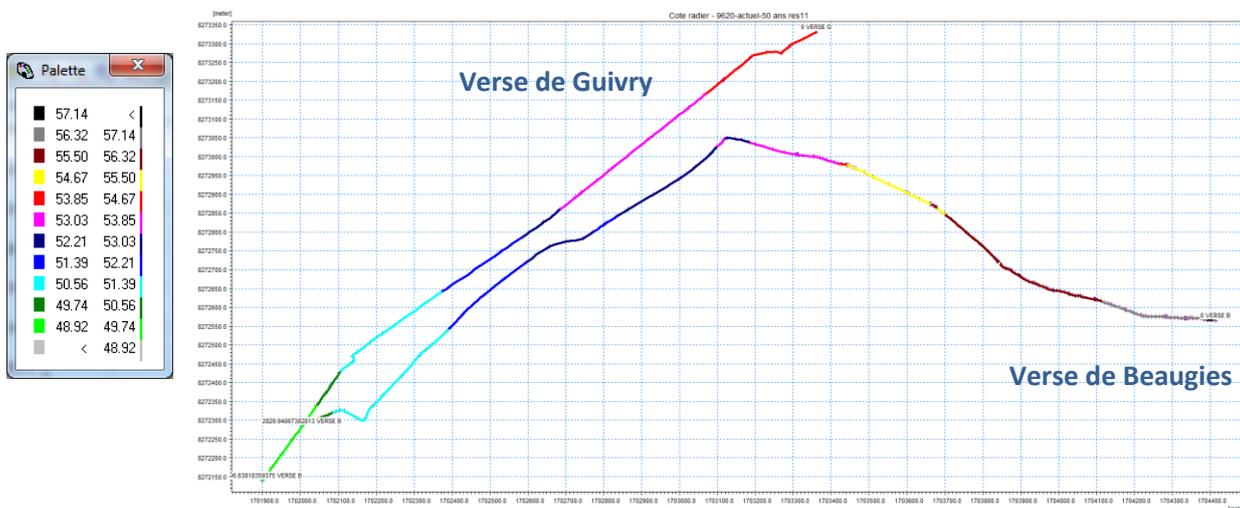
MIKE FLOOD permet le couplage dynamique et automatique du modèle MIKE 21 avec le modèle 1D MIKE 11, tout en bénéficiant d'une interface graphique conviviale.

3.2 Architecture du modèle– Extension de la zone modélisée

La structure du modèle reposera donc sur le découpage géographique de la vallée inondable d'une surface d'environ 112 ha et d'un linéaire de 3000m pour la Verse de Beaugies et de 1700m pour la Verse de Guivry.

Le schéma suivant illustre les variations topographiques du fond de la Verse de Beaugies et de la Verse de Guivry, intégrées dans le modèle.

Schéma 1 : Variations topographiques du fond des deux Verses (Beaugies et Guivry)



Les deux schémas suivants présentent la structure de la situation actuelle du modèle 1D et du modèle 2D.

Schéma 2 : Structure du modèle 1D

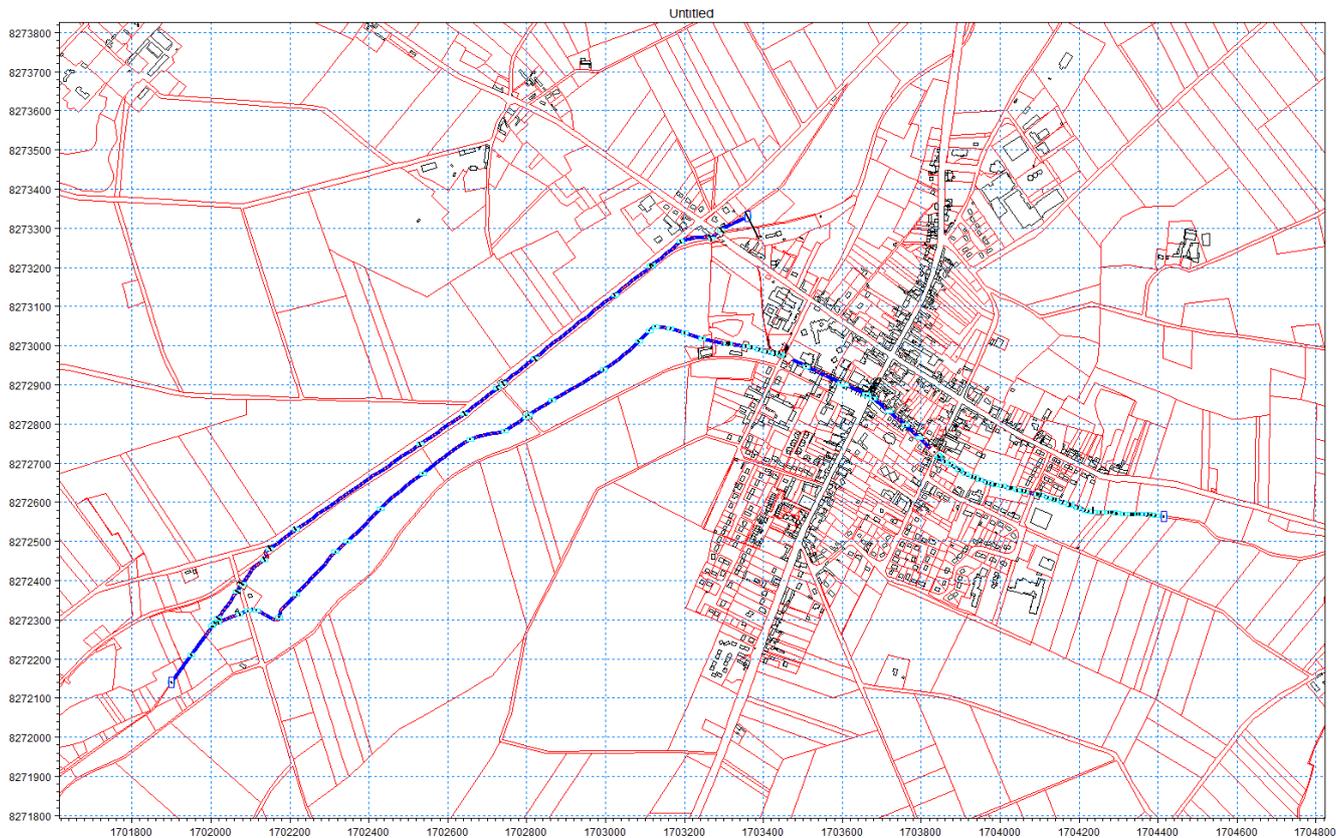
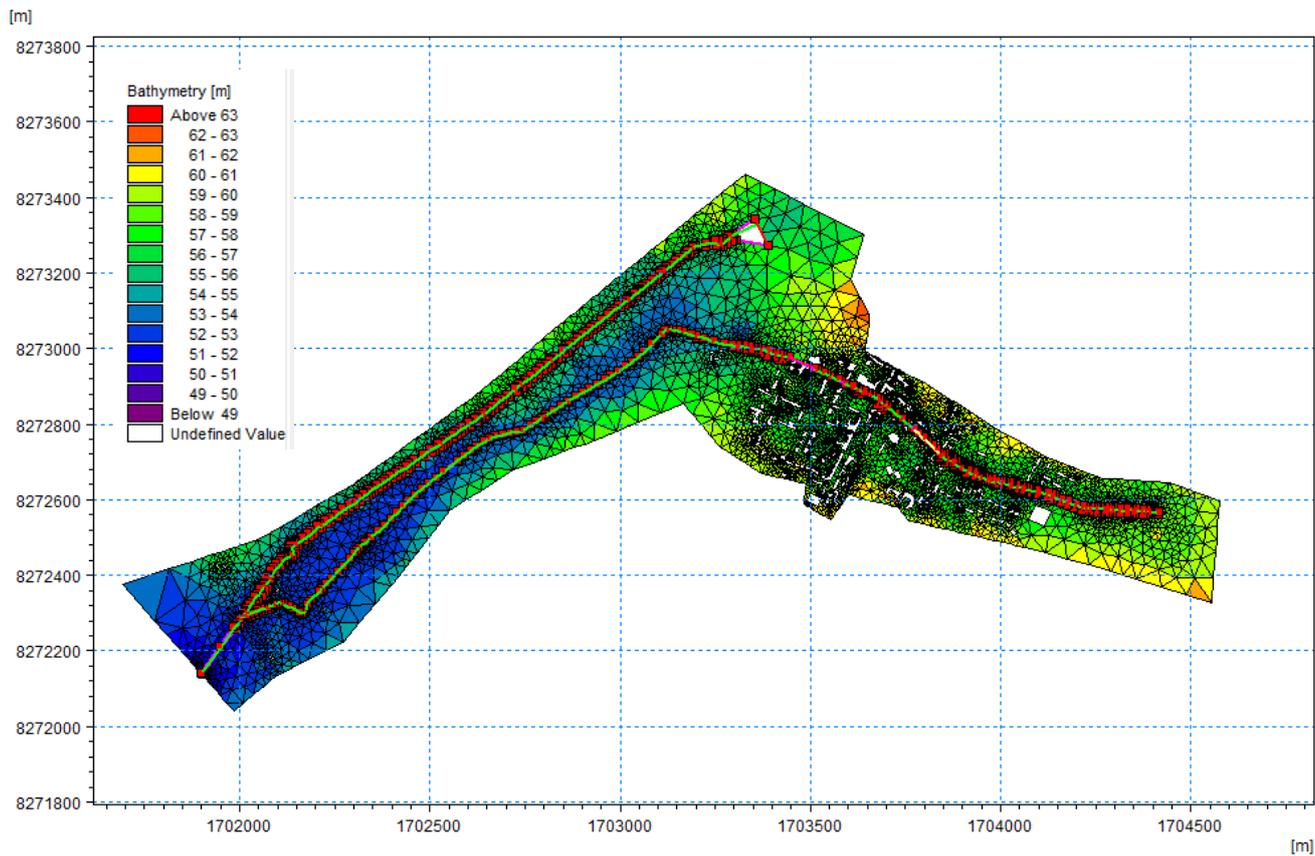


Schéma 3 : Structure du modèle 2D – Connexions 1D/2D



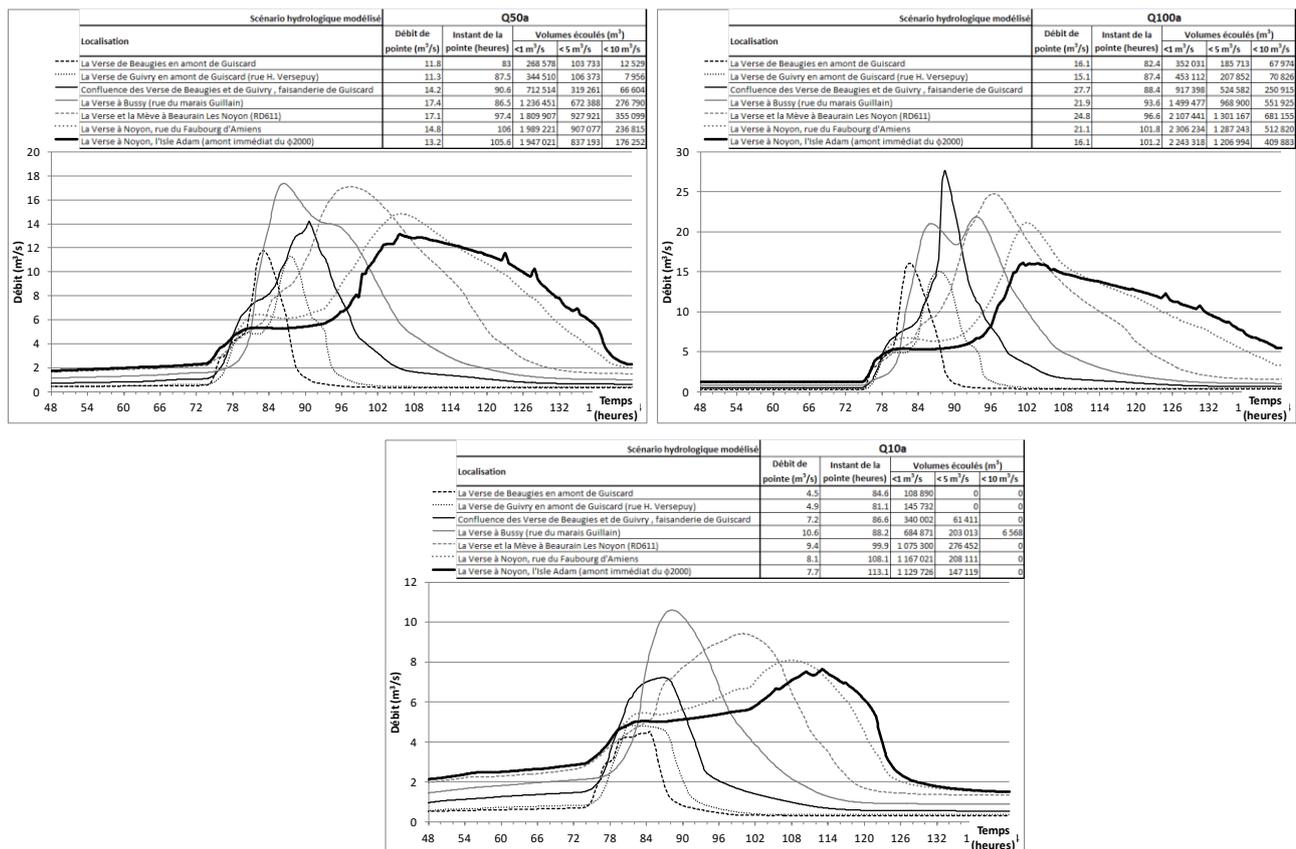
3.3 Hydrogrammes entrées

Dans le cadre de la modélisation initiale (Ingetec - 2016), 3 crues ont été retenues par le COPIL :

- L'événement de juin 2007, soit une crue récente et bien renseignée pour le calage du modèle (l'occurrence de cette crue exceptionnelle est estimée à 1000 ans à Guiscard et à 210 ans à Noyon) ;
- Le débit d'occurrence **50 ans** comme crue de projet, étant donné que l'objectif de protection recherchée sur le bassin versant est la protection cinquantennale ;
- Le **débit centennal** comme crue de sécurité.

Dans le cadre de cette modélisation complémentaire, le débit d'occurrence **10 ans** a été également modélisé.

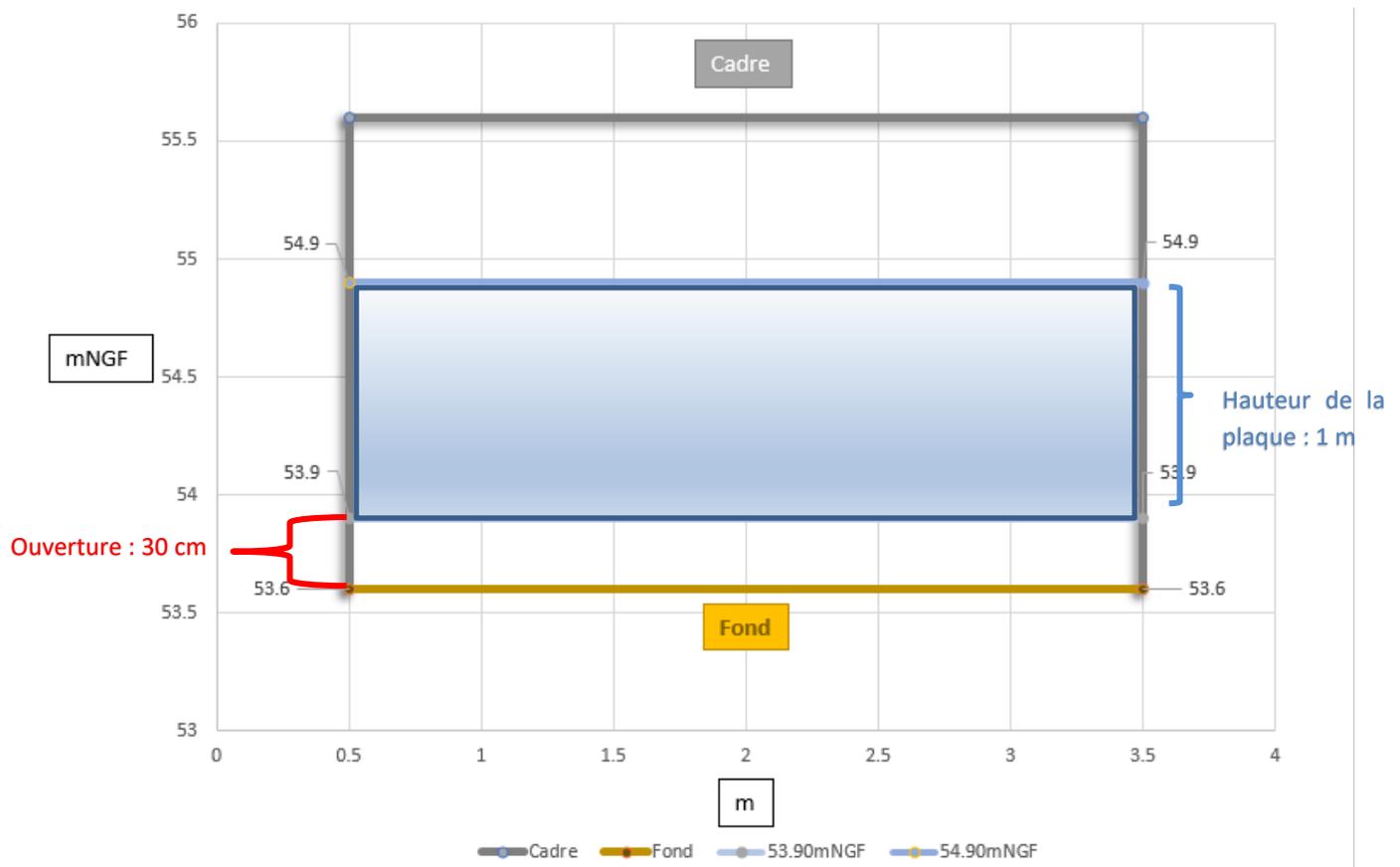
Graphique 1 : Rappel des hydrogrammes utilisés : Hydrogramme de la crue - Verse de Beaugies et Verse de Guivry « Guiscard amont » – Q10 ans, Q50 ans et Q100 ans – Source : Hydratec – 2012



3.4 Résultats et analyse

Le frein hydraulique a été intégré dans le modèle de la situation future de l'étude précédente (Ingetec, 2016) à l'entrée de l'ouvrage OH4 (cadre 3X2) au niveau de la fondation Berny. Suite aux différents essais, le dimensionnement optimal de cet ouvrage est présenté sur la figure suivante.

Graphique 2 : Dimensionnement du frein hydraulique au niveau OH4



Par le biais des résultats des modélisations réalisées, l'absence d'impacts négatifs des travaux de réouverture de la Verse en termes d'inondabilité-avec l'installation d'une plaque à l'entrée de l'ouvrage OH4 (cadre 3X2) au niveau de la fondation Berny, pendant la période précédant la mise en service du bassin de Muirancourt (ou d'autre solution permanente), doit être prouvée.

Pour ce faire, une analyse comparative des résultats des deux modélisations (situations actuelle & future) nous a permis d'évaluer les impacts hydrauliques de ces travaux.

Les hauteurs maximales calculées par la modélisation de la situation actuelle et de la situation future, pour des crues d'occurrence 50 ans, 100 ans et 10 ans, sont illustrées sur les schémas suivants.

Schéma 4 : Résultats de la modélisation lors de la crue de projet d'occurrence 50 ans : Situations actuelle & future- Hmax (en 2D)

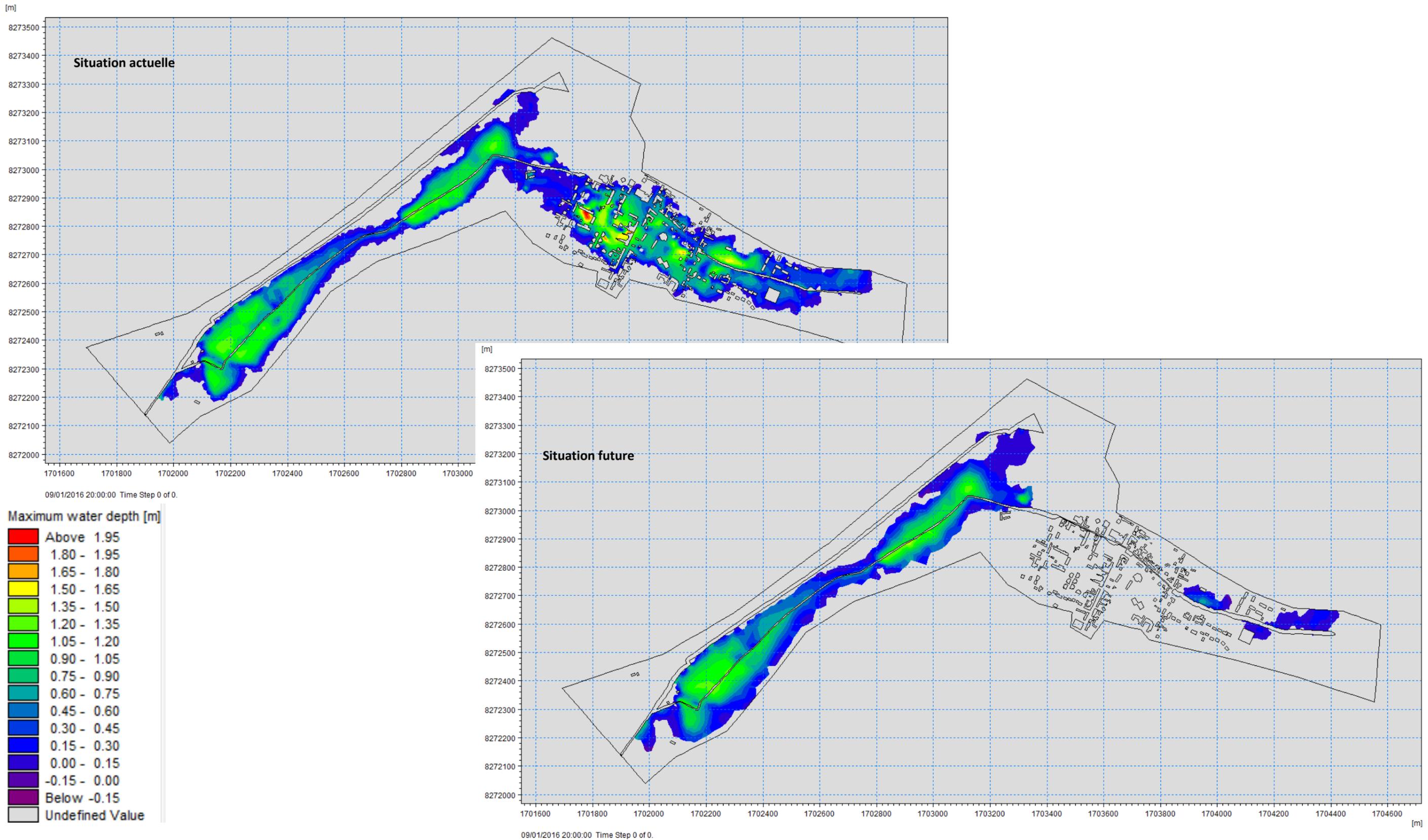


Schéma 5 : Résultats de la modélisation lors de la crue de sécurité d'occurrence 100 ans : Situations actuelle & future- Hmax (en 2D)

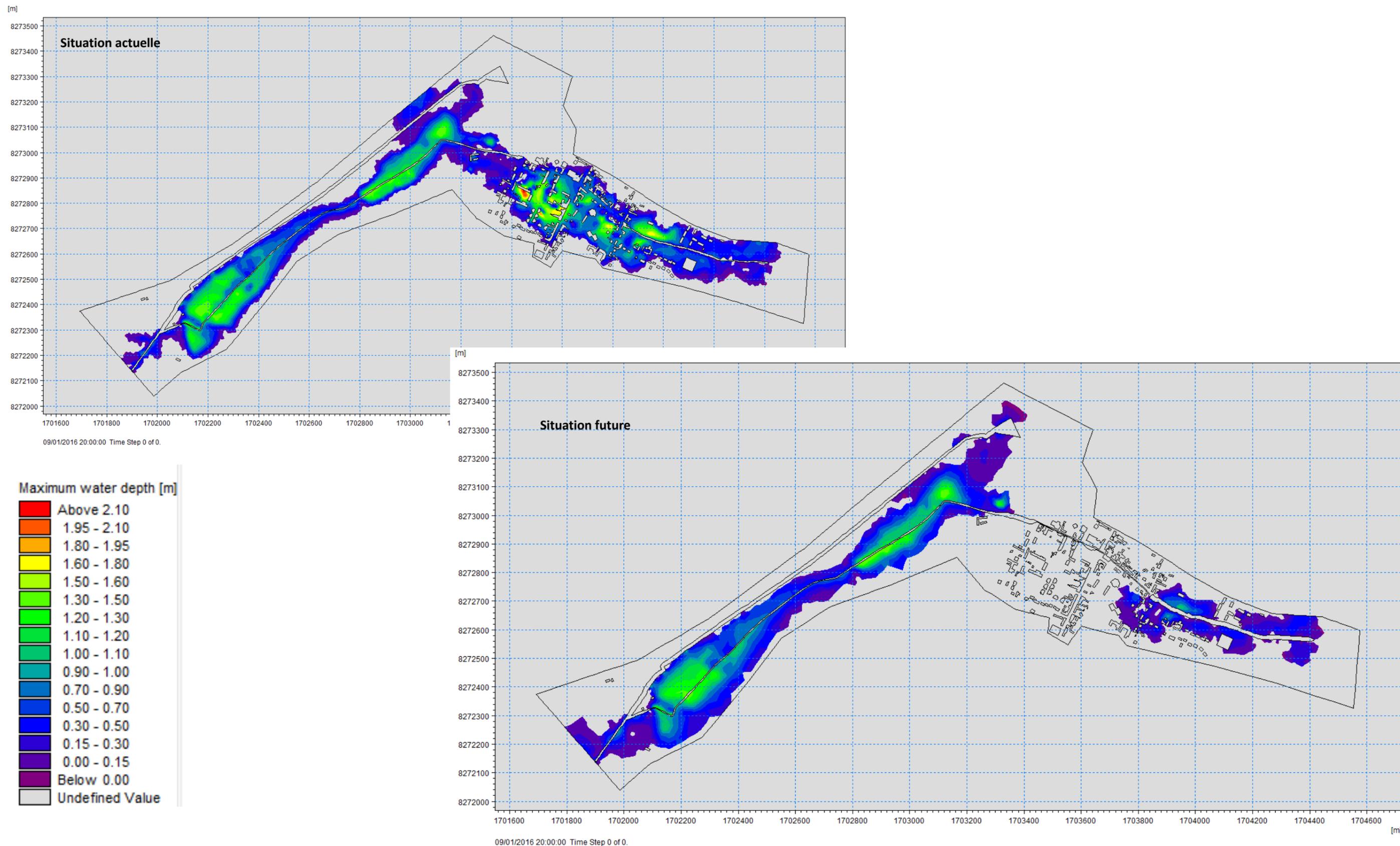
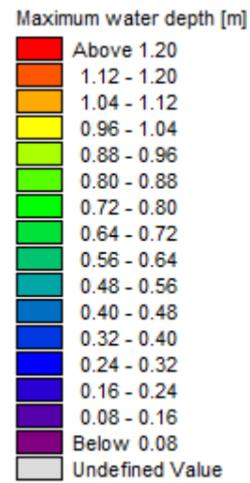
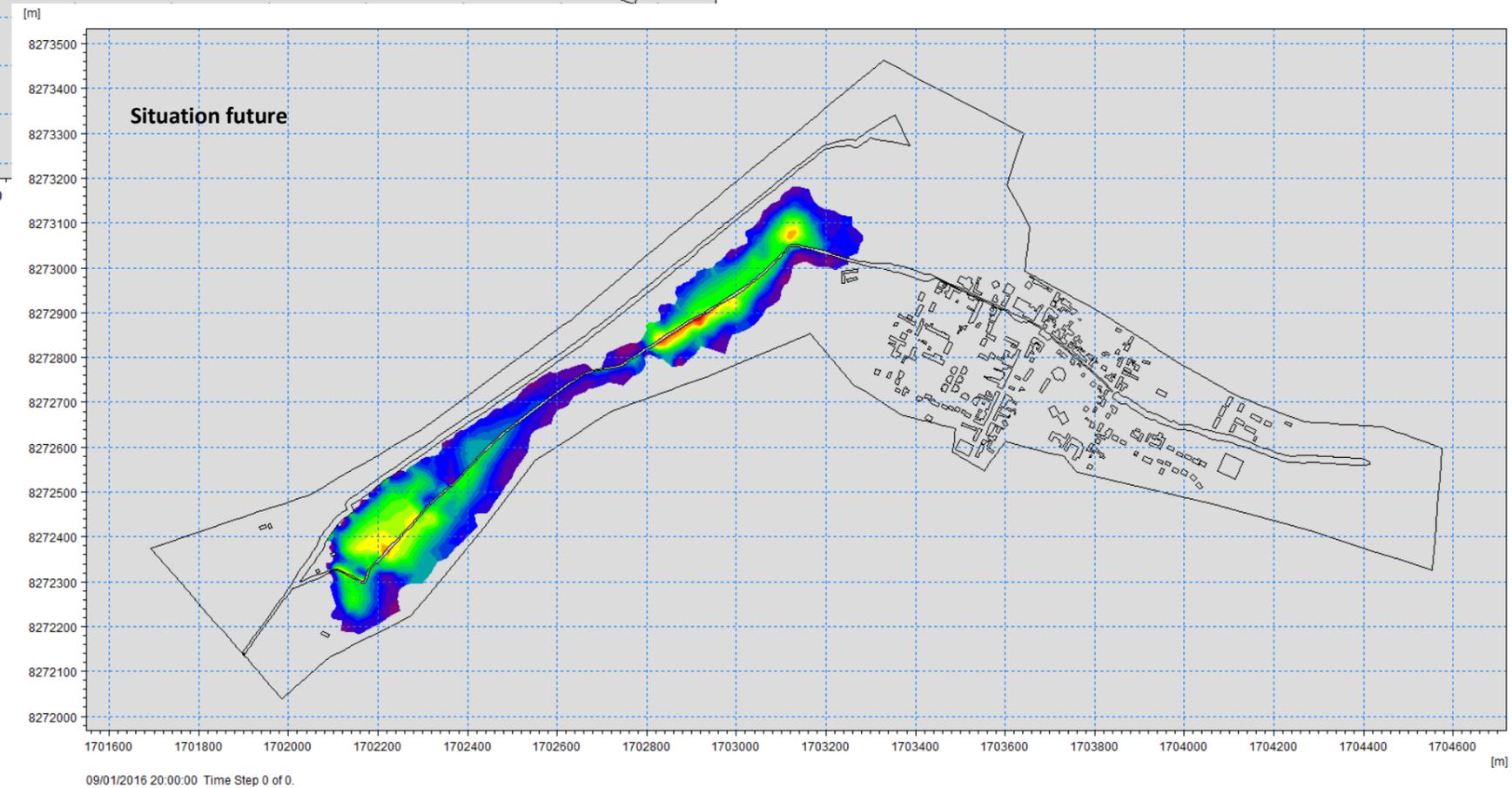
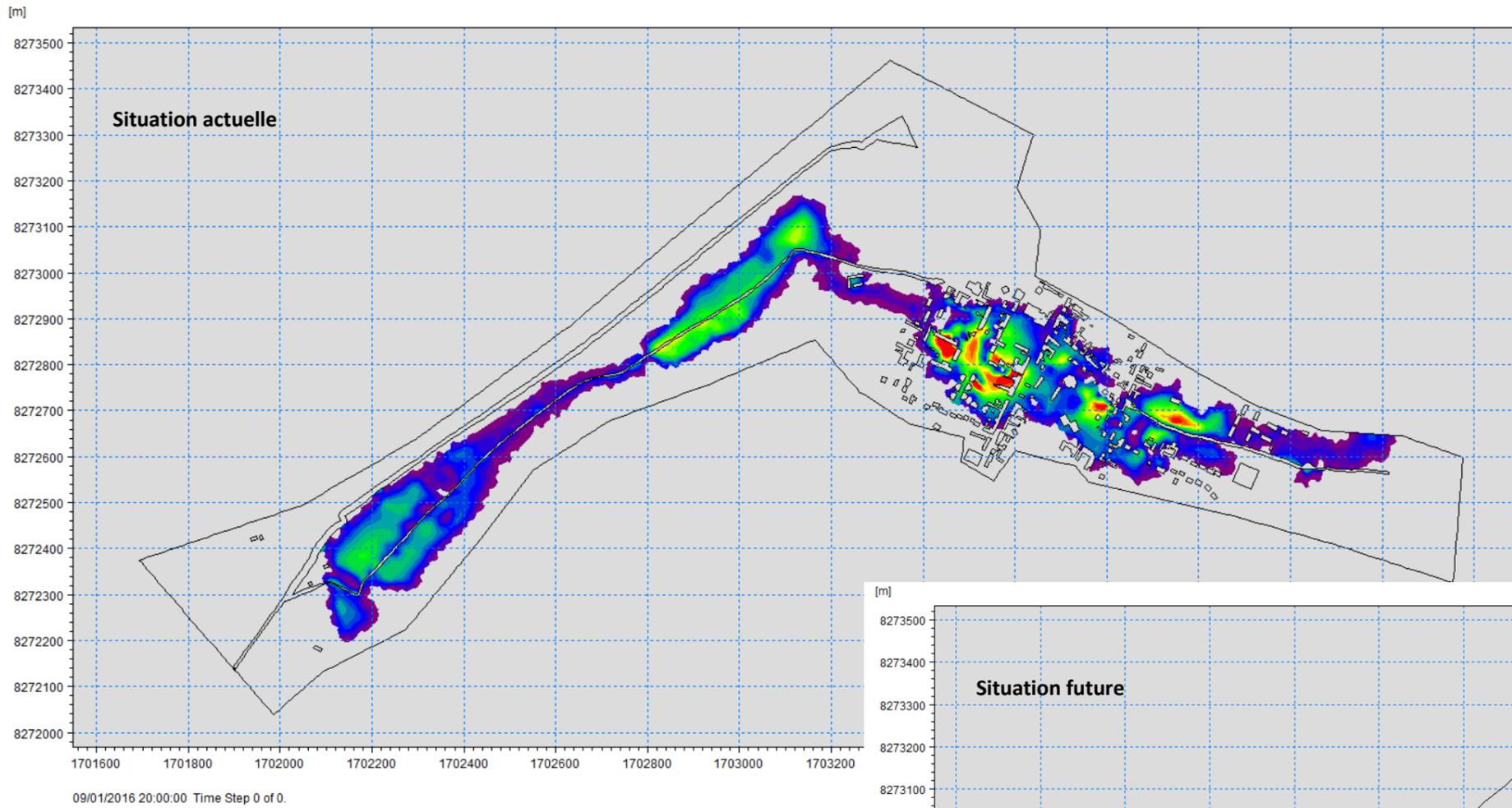


Schéma 6 : Résultats de la modélisation lors de la crue d'occurrence 10 ans : Situations actuelle & future- Hmax (en 2D)



3.4.1 Analyse des résultats

3.4.1.1 Crue cinquantennale – Crue de projet

Rappel : L'ensemble du projet de réouverture est dimensionné pour la crue cinquantennale.

Les résultats de la modélisation pour la crue de projet (Q50ans) en situation future montrent une nette diminution de l'emprise inondable et de la hauteur maximale d'inondation en amont de Guiscard, au niveau du bourg et à la confluence des 2 Verses.

Ces résultats sont expliqués par l'agrandissement significatif des sections.

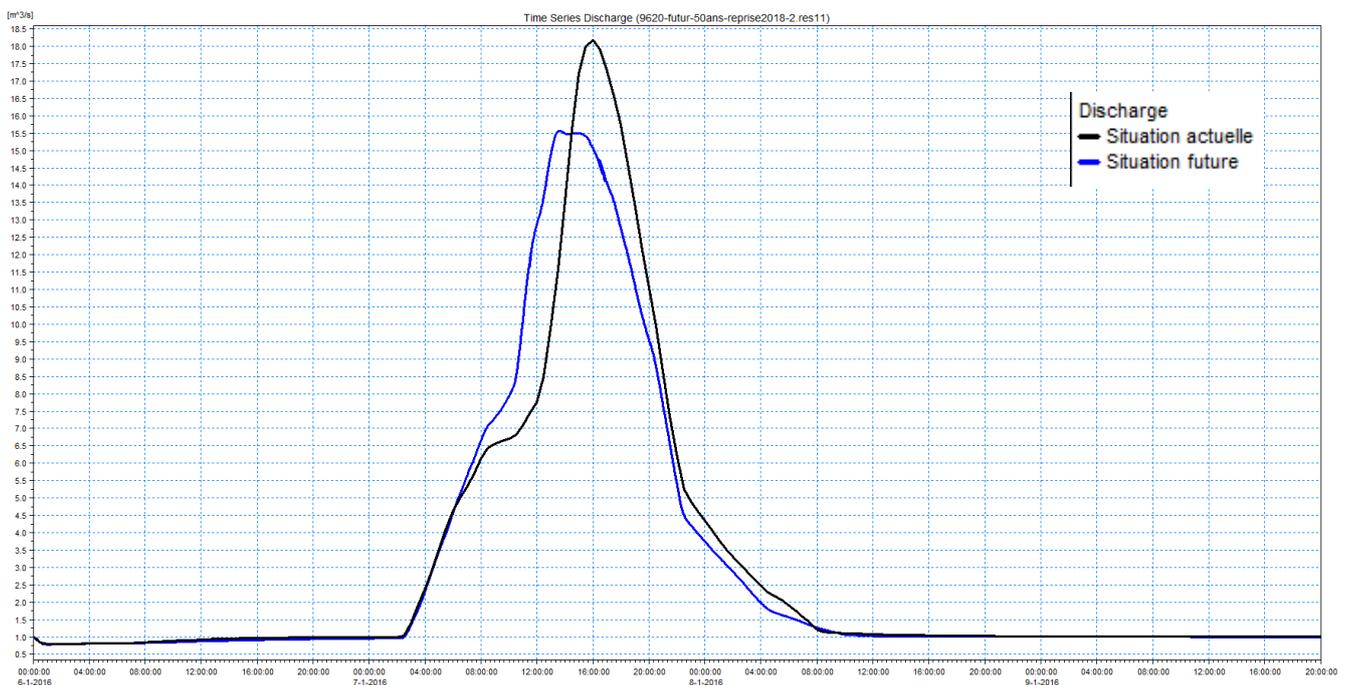
Les élargissements des sections limitent les débordements de la Verse au droit du projet, soit la traversée de Guiscard, et provoquent une augmentation de débit au niveau des marais situés en aval immédiat de celui-ci. Les marais permettent d'écarter fortement les crues débordantes et, par conséquent, diminuent le débit de pointe et abaissent la ligne d'eau à l'exutoire du modèle. Ceci est visible sur les schémas 4 par une augmentation en situation future de la largeur inondable au niveau des marais (secteur sans enjeux), ainsi que sur le graphique 3 qui compare les hydrogrammes correspondant aux situations actuelle et future.

En résumé, un premier écrêtement se réalise au niveau du projet dû aux agrandissements très importants des sections. Le schéma 4 montre une légère augmentation de l'enveloppe inondable à l'aval qui se traduit par une hauteur d'eau et un débit plus élevés au niveau des marais, ce qui permet une limitation de débit de pointe à l'exutoire du modèle (confluence des 2 Verses) en situation future (voir graphique 3).

La Verse ne présente quasiment pas de débordements au niveau du bourg de Guiscard en situation future. Les débordements (limités) en amont de la rue de la reconnaissance sont dus à la mise en place du frein hydraulique faisant obstacle aux écoulements.

Le graphique suivant présente l'hydrogramme aval de la modélisation (Q 50 ans) dans les situations actuelle et future.

Graphique 3 : Propagation de la crue de projet (50 ans) – Résultat de la modélisation de la situation actuelle et de la situation future en aval du modèle – Après confluence des deux Verses



En situation future, l'hydrogramme à l'exutoire du modèle présente un pic inférieur à celui de la situation actuelle de 2.6 m³/s, soit 14% du débit d'arrivée, ce qui représente une nette amélioration en termes d'inondabilité.

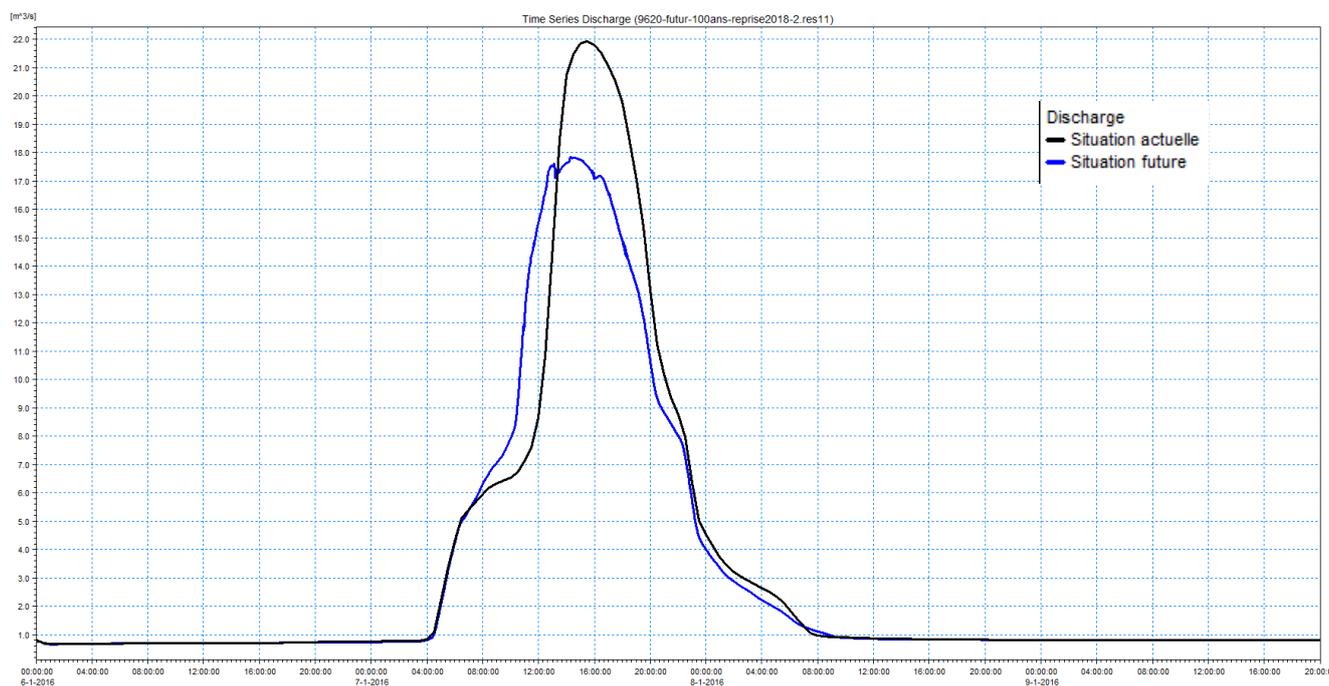
3.4.1.2 Crue centennale – Crue de sécurité

Pour la crue de sécurité (Q100 ans), les résultats de la modélisation présentent les mêmes constats, soit une diminution importante du champ inondable au niveau des secteurs à enjeux.

Comme le cas précédent, un premier écrêtement se réalise au niveau du projet dû aux agrandissements très importants des sections. Le schéma 4 montre une légère augmentation de l'enveloppe inondable à l'aval qui se traduit par une hauteur d'eau et un débit plus élevés au niveau des marais, ce qui permet une limitation de débit de pointe à l'exutoire du modèle (confluence des 2 Verses) en situation future (voir graphique 3). La non conservation des volumes entre la situation actuelle et future s'explique par le fait qu'une partie des débordements ne pouvant pas rejoindre le cours d'eau demeure dans les marais, et s'infiltrera au fur et à mesure.

Le graphique suivant compare l'hydrogramme aval de la modélisation (Q 100 ans) dans les situations actuelle et future.

Graphique 4 : Propagation de la crue de sécurité (100 ans) – Résultat de la modélisation de la situation actuelle et de la situation future en aval du modèle – Après confluence des deux Verses



En situation future, l'hydrogramme à l'exutoire du modèle présente un pic inférieur à celui de la situation actuelle de 4.1 m³/s, soit 18% du débit d'arrivée, ce qui représente une nette amélioration en termes d'inondabilité.

3.4.1.3 Crue décennale – Crue courante

Les résultats de la modélisation pour la crue décennale montrent une absence totale d'inondations des habitations de Guiscard en situation future.

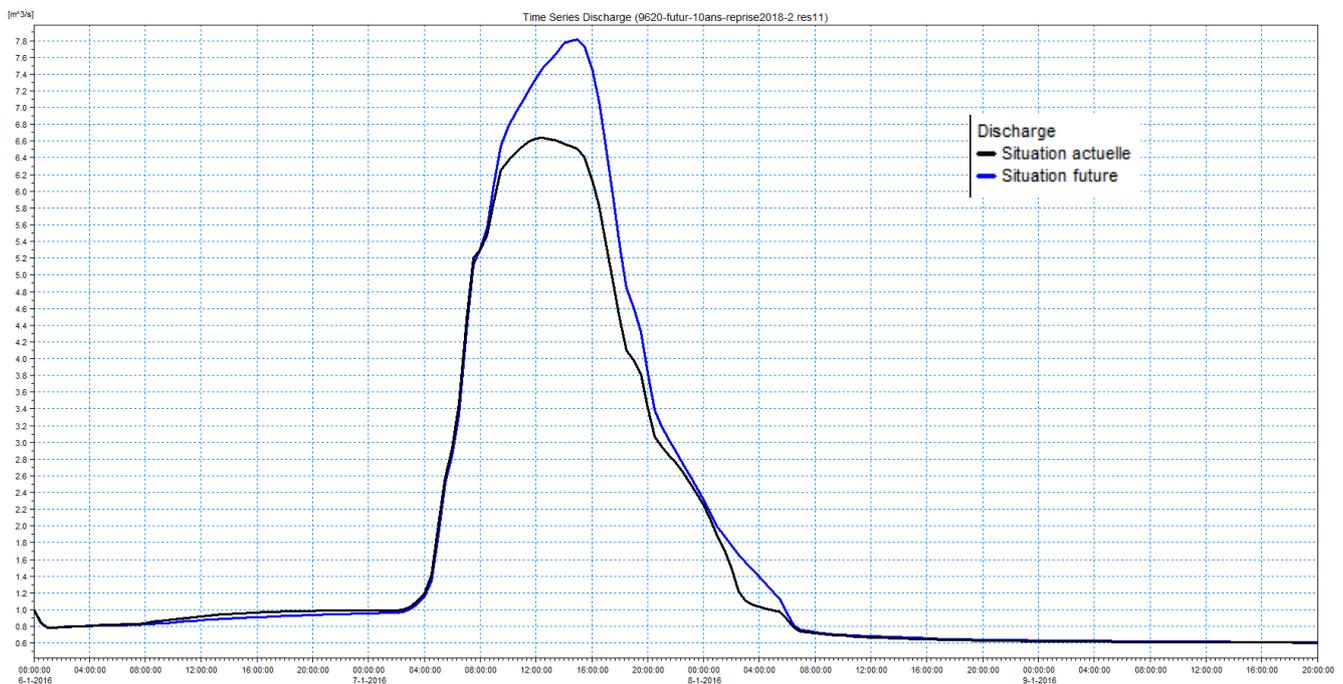
Comme le cas pour la crue cinquantennale, ces résultats sont expliqués par l'agrandissement significatif des sections.

Les élargissements des sections suppriment les débordements de la Verse au droit du projet, soit la traversée de

Guiscard (localement), provoquent une augmentation de débit au niveau des marais et permettent d'écarter fortement les crues débordantes, mais pas suffisamment pour équilibrer les débits décennaux *des deux* situations en aval de la confluence des deux Verses. En effet le débit décennal n'est pas aussi débordant que le débit cinquantennal. Les écoulements restent au fond de la vallée sans pouvoir être étalés sur toute la largeur des marais.

Le graphique suivant compare l'hydrogramme aval de la modélisation (Q 10 ans) dans les situations actuelle et future.

Graphique 5 : Propagation de la crue courante (10 ans) – Résultat de la modélisation de la situation actuelle et de la situation future en aval du modèle – Après confluence des deux Verses



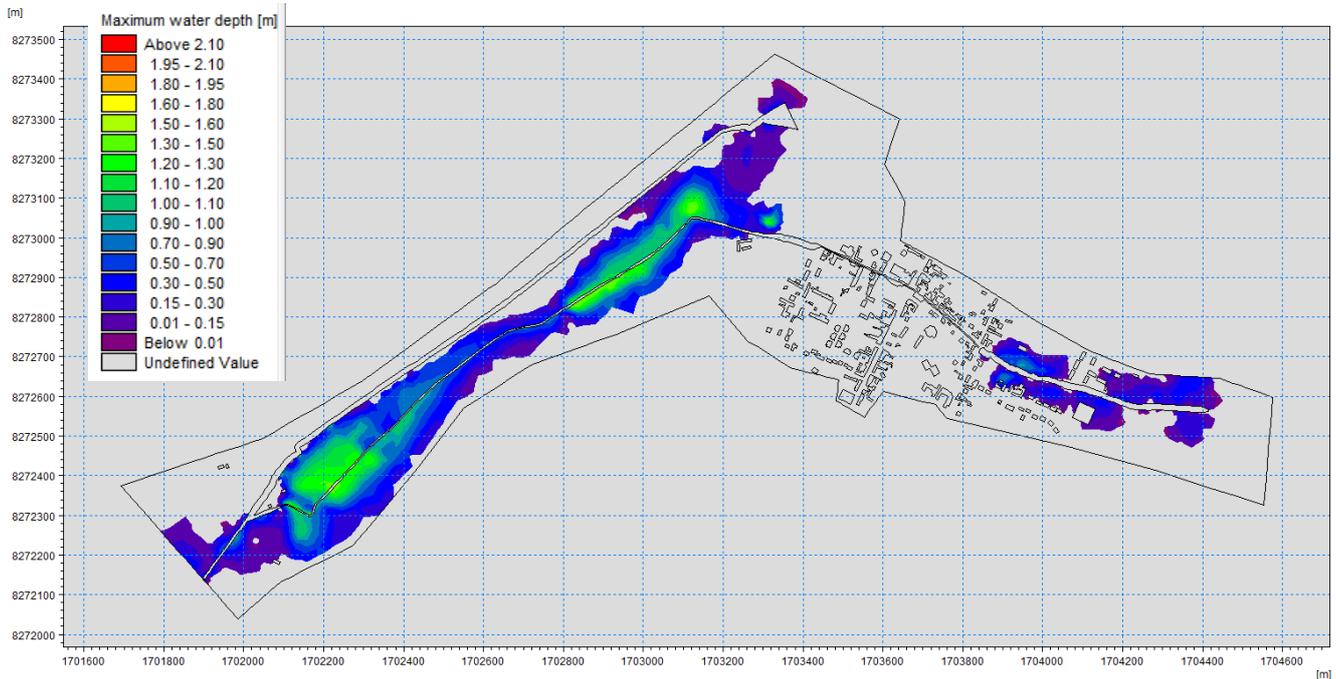
En situation future, l'hydrogramme à l'exutoire du modèle présente, contrairement aux deux crues précédentes, un pic supérieur à celui de la situation actuelle de $1.17 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 17% du débit d'arrivée.

3.4.2 Analyse du scénario de rupture

Dans ce paragraphe le scénario de rupture est étudié de façon simplifiée, soit à partir des résultats d'une simulation de la situation future sans le frein hydraulique.

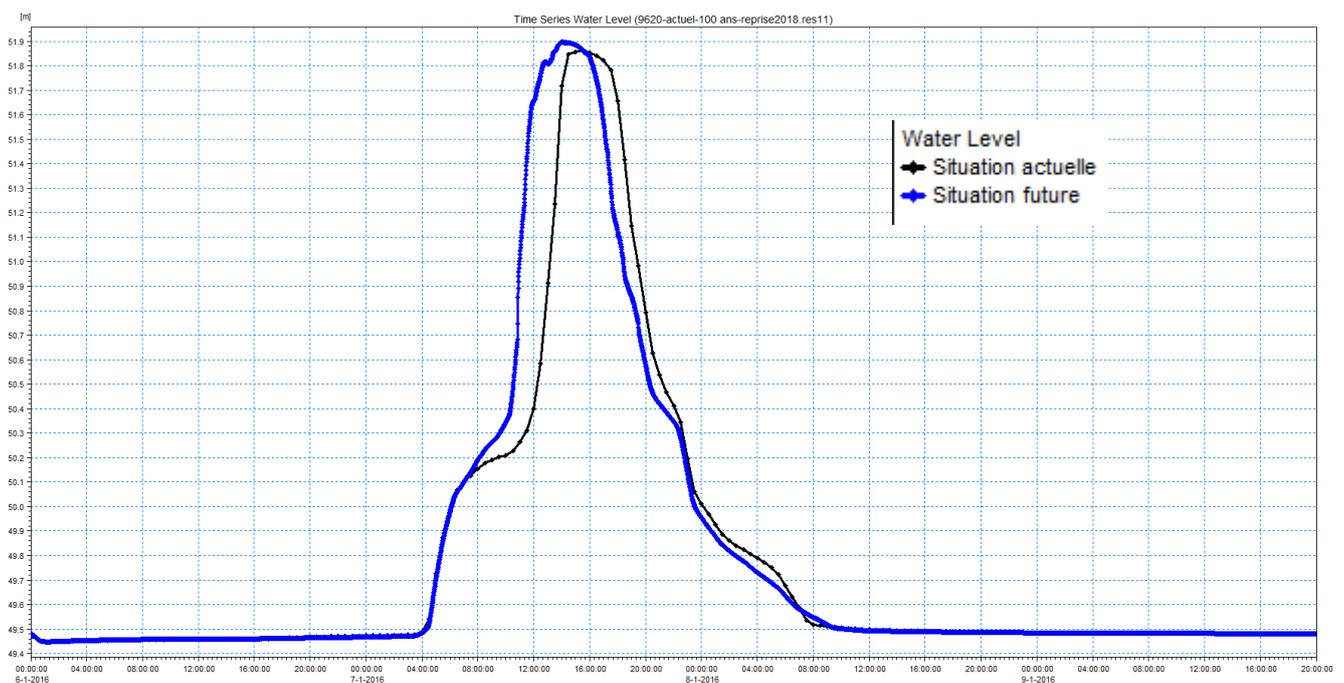
Les hauteurs maximales calculées par la modélisation de la situation future (en absence du frein hydraulique) pour la crue d'occurrence 100 ans sont illustrées sur le schéma suivant.

Schéma 7 : Résultats de la modélisation lors de la crue d'occurrence 100 ans : Situation future sans le frein hydraulique- Hmax (en 2D)



Les résultats montrent un rehaussement de la ligne d'eau de l'ordre de 3 cm au niveau de la confluence des deux Verses (Cf. graphique suivant).

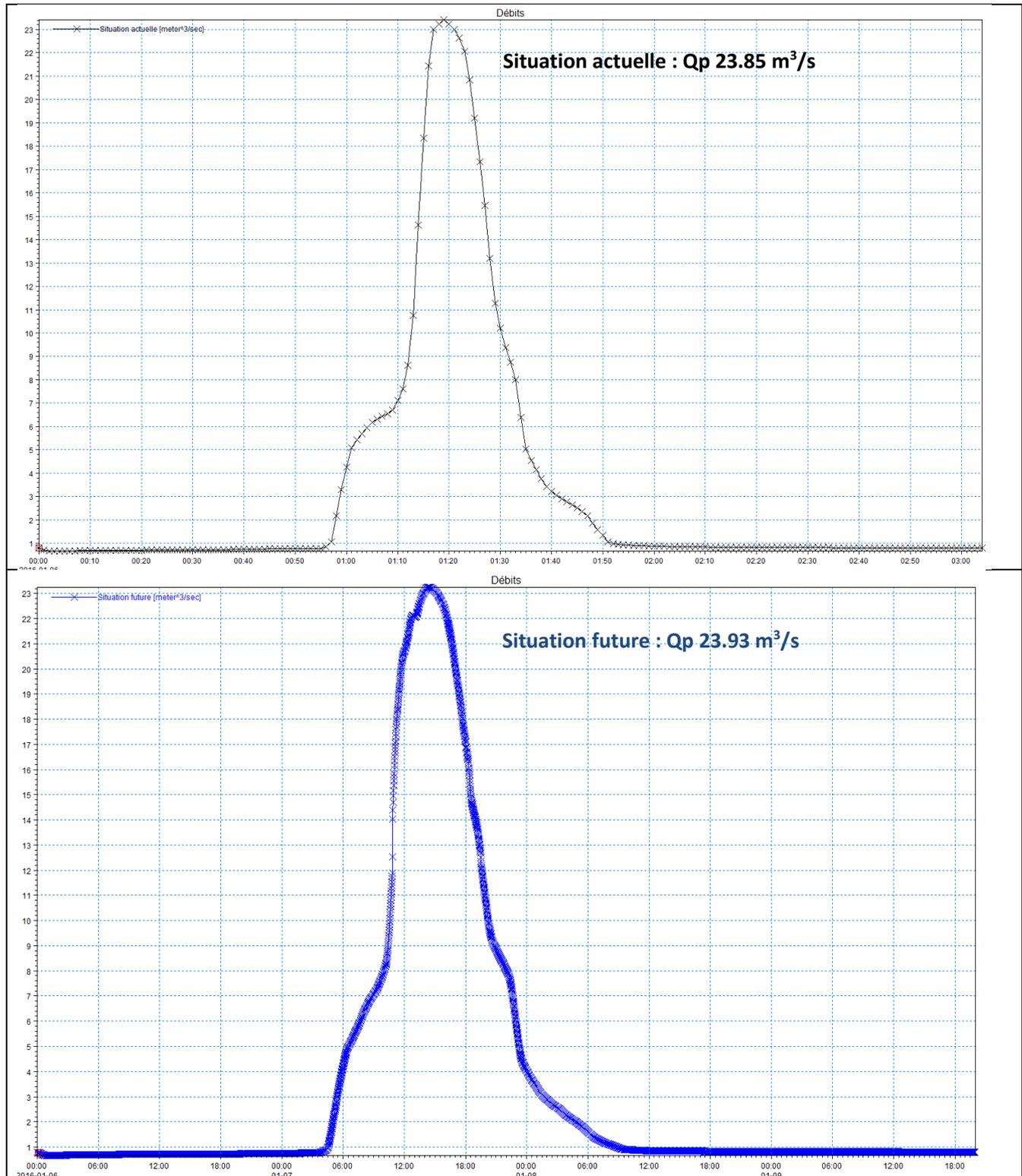
Graphique 6 : Hydrogrammes (100 ans) – Résultat de la modélisation de la situation actuelle et de la situation future (sans le frein hydraulique) en aval du modèle – Après confluence des deux Verses



Cette rehausse de la ligne d'eau n'a pas d'impact significatif sur le champ inondable au niveau des marais puisque dans les 2 situations (future : avec ou sans frein), il est à sa capacité maximale. Cependant une diminution de débordement est visible dans le bourg du Guiscard en comparant les schémas 6 et 5b.

L'augmentation du débit à l'extoire est quant à elle à 0.08 m³/s.

Graphique 7 : Propagation de la crue courante (100 ans) – Résultat de la modélisation de la situation actuelle et de la situation future (sans le frein hydraulique) en aval du modèle – Après confluence des deux Verses



3.4.3 Conclusion

Comme expliqué précédemment, la crue de projet et la crue de sécurité sont respectivement Q 50 ans et Q 100 ans. Le choix de la crue de projet « Q 50 ans », s'explique par le fait que la protection recherchée sur le bassin versant de la Verse est la protection cinquantennale. L'ouvrage de ralentissement dynamique des crues de Muirancourt est également dimensionné pour une protection cinquantennale.

Les résultats des modélisations mettent en évidence que les travaux de réouverture et de restauration hydromorphologique de la Verse de Beaugies à l'échelle de la commune de Guiscard n'ont aucun impact négatif ni vers l'aval, ni au niveau du bourg de Guiscard, sous réserve de la mise en place d'un frein hydraulique sur la Verse. Au contraire, ces travaux génèrent une diminution de l'emprise inondable, de la hauteur maximale d'inondation et du débit de pointe au niveau des secteurs à enjeux pour la crue de projet (Q 50ans) et pour la crue de sécurité (Q 100ans).

Les élargissements des sections limitent les débordements de la Verse au droit du projet (localement) et provoquent une augmentation du débit en aval immédiat de celui-ci. Les marais, situés plus en aval, permettent d'écrêter fortement les crues débordantes et, par conséquent, diminuent le débit de pointe et abaissent la ligne d'eau à l'exutoire du modèle. Ceci est visible sur les schémas 4, 5 et 6 par une augmentation de la largeur inondable au niveau des marais (secteur sans enjeux) en situation future.

Concernant la crue décennale, une augmentation de débit est constatée au niveau de l'exutoire du modèle, amenant le débit décennal de 6.64 m³/s en situation actuelle à 7.81 m³/s en situation aménagée.

En effet, le frein hydraulique, comme toutes solutions « de mesure d'urgence », ne peut répondre qu'aux exigences prioritaires. Sur le bassin versant de la Verse, le secteur amont, notamment la commune Guiscard, est touchée par d'importantes inondations (au niveau des nombreuses habitations) dès lors d'une crue décennale. En revanche, en aval, notamment sur la commune de Noyon, les inondations des habitations ne commencent qu'à partir d'une crue d'occurrence cinquantennale (Cf. Etude globale 2012).

Ces résultats nous permettent d'en déduire que la solution proposée comme mesure d'urgence, afin d'éviter tout impact hydraulique du projet d'ouverture de la Verse en attendant la réalisation de l'ouvrage de Muirancourt, est bien adaptée au contexte hydraulique du bassin versant de la Verse. Elle supprime les inondations de nombreuses habitations de Guiscard lors d'une crue courante et ceci sans causer de nouvelles inondations en aval.

Lors des crues importantes (50 ans et 100 ans), elle limite fortement les inondations de Guiscard et diminue le débit de pointe vers l'aval de façon considérable (de 14 à 18%).

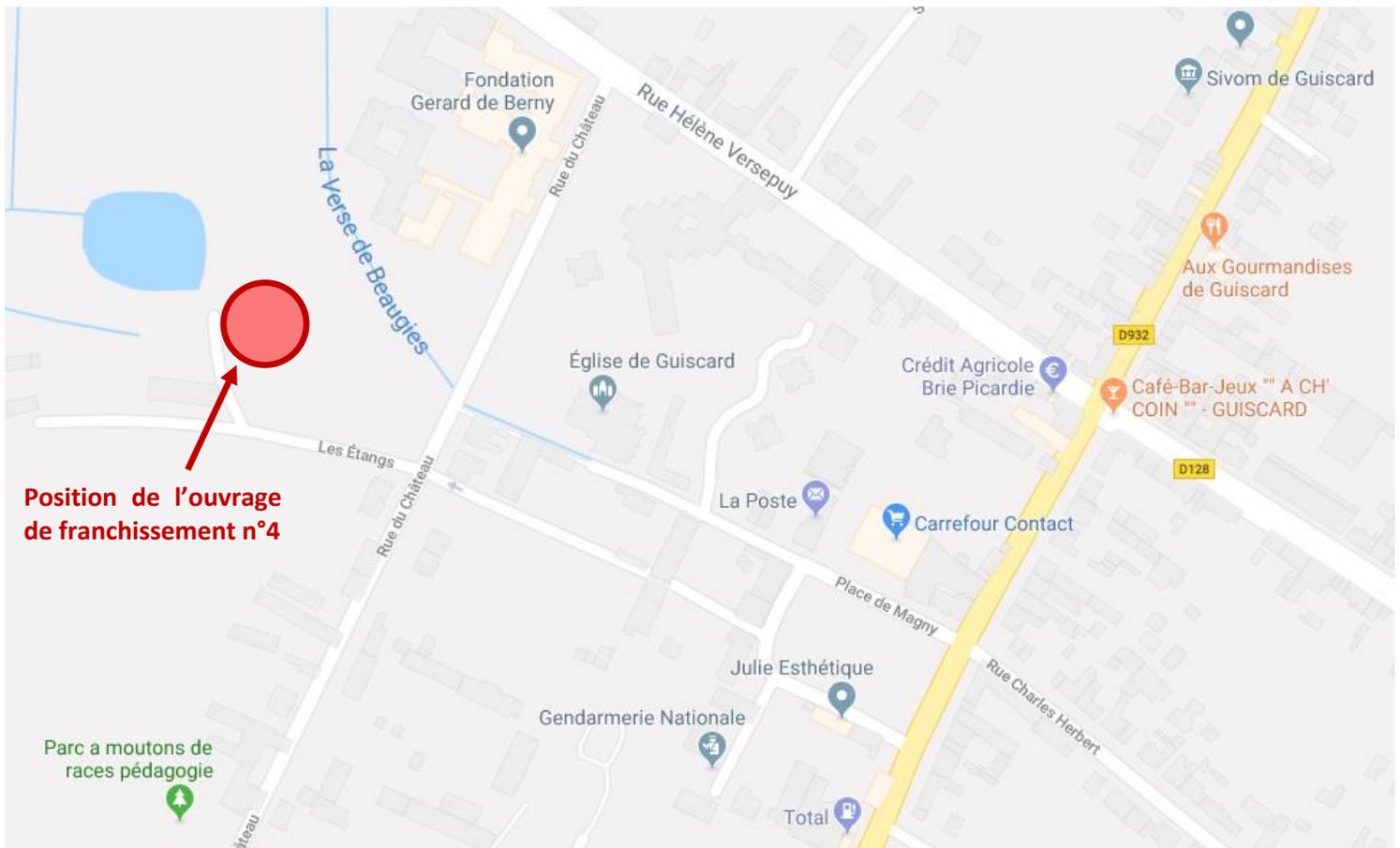
Les résultats des modélisations mettent donc en évidence que les travaux de réouverture et de restauration hydromorphologique de la Verse de Beaugies à l'échelle de la commune de Guiscard n'ont aucun impact négatif ni vers l'aval, ni au niveau du bourg de Guiscard, et ceci sous réserve de la mise en place d'un frein hydraulique à l'entrée de l'ouvrage OH4, tel que présenté sur le graphique 1.

4

Description détaillée du frein hydraulique

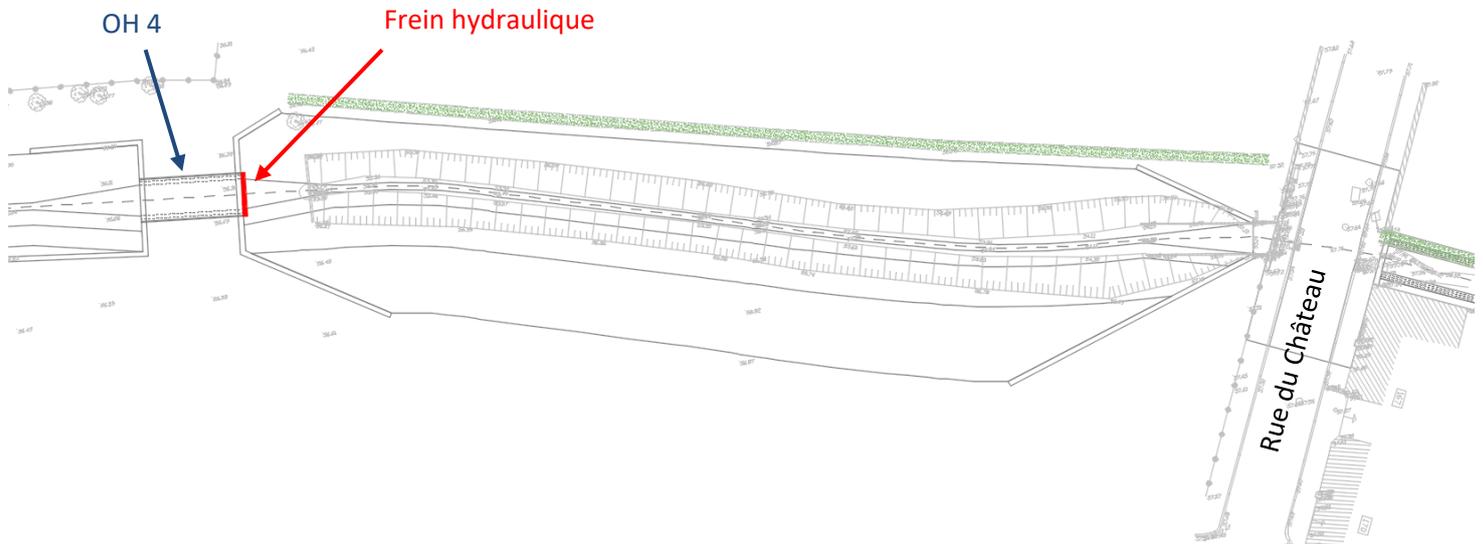
4.1 Localisation de la zone d'intervention

L'ouvrage de franchissement qui servira de support au frein hydraulique se situe en aval de la commune de Guiscard.



4.2 Localisation du frein hydraulique

Le frein hydraulique sera fixé sur l'ouvrage de franchissement n°4, en aval de la rue du Château.



OH 4 en cours de réalisation

4.3 Caractéristiques techniques du frein hydraulique

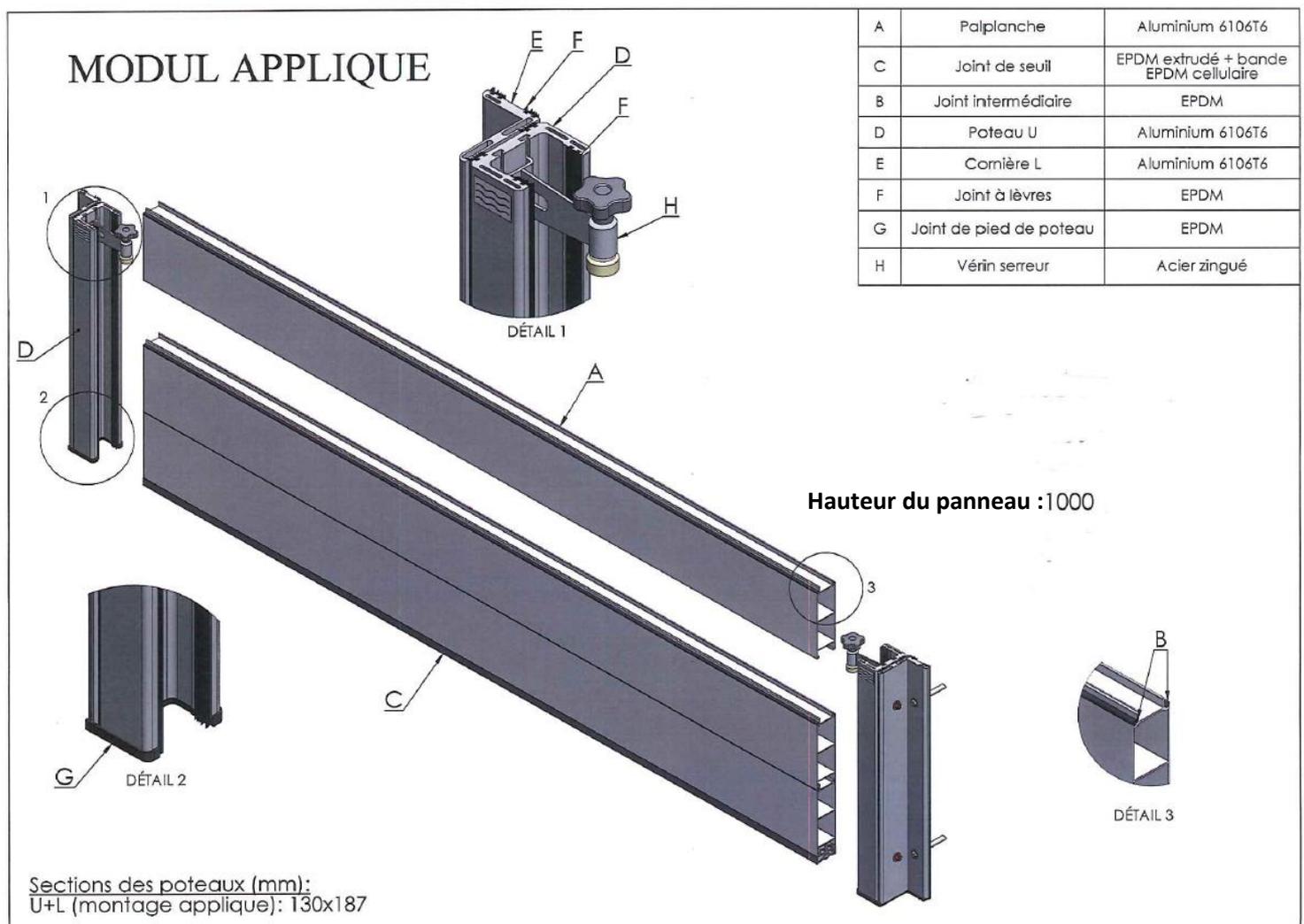
Le frein hydraulique sera constitué des éléments suivants :

- Cornières en L et glissière de fixation en U en aluminium,
- Vérins serreurs en acier zingué
- Panneau en aluminium d'une hauteur de 1,00m, d'une largeur de 3,00m et d'une épaisseur de 80mm.

La mise en œuvre du frein s'effectuera de la manière suivante :

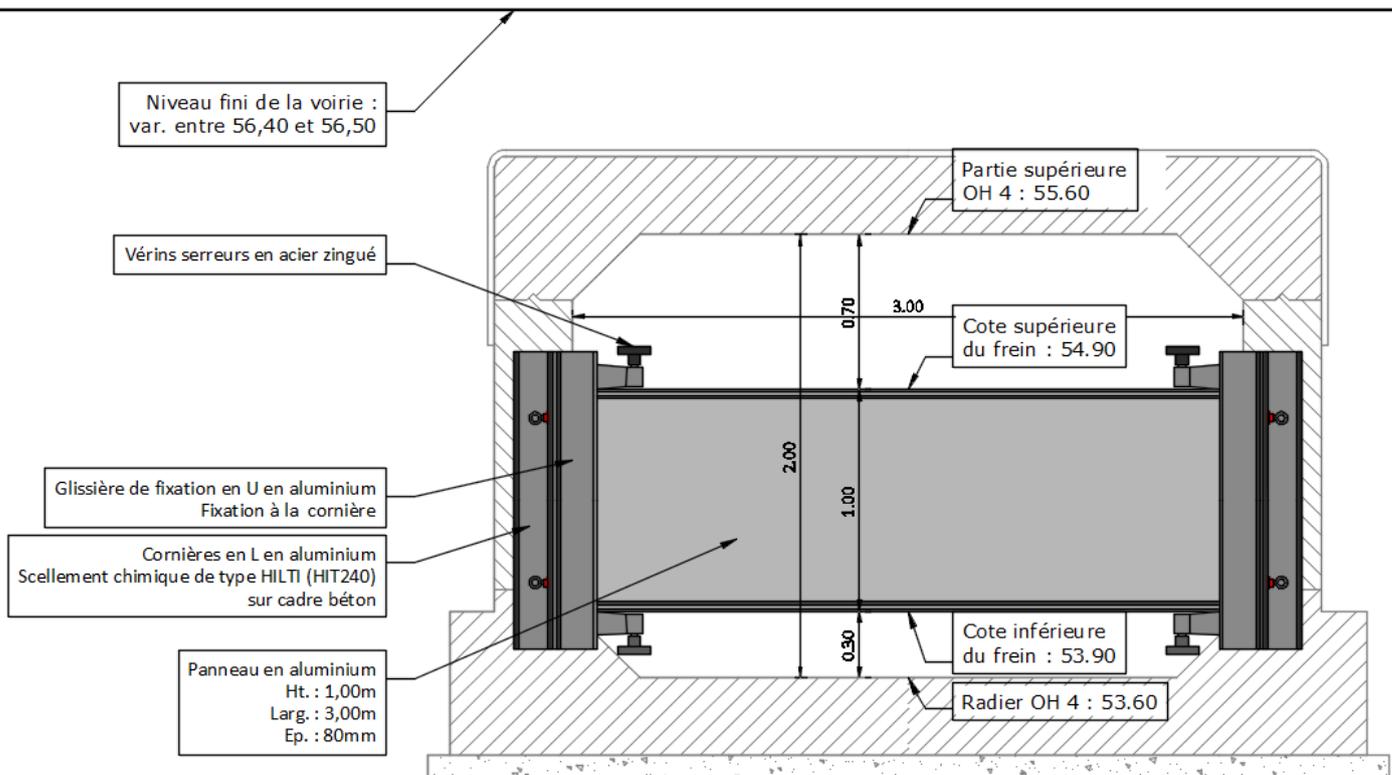
- Mise en place des cornières par scellement chimique de type HILTI (HIT240)
- Mise en place des glissières sur les cornières ;
- Mise en place du panneau dans les glissières et réglage des vérins serreurs

Le principe constructif du frein est indiqué sur le schéma ci-dessous :



N.B. : Dans le cas présent, le frein hydraulique sera composé d'un seul panneau de 1,00m de hauteur (dimension standard).

La coupe, ci-dessous, permet de détailler la mise en place du frein sur l'ouvrage de franchissement n°4 :



Le radier du cadre béton se trouve à la cote de 53.60. La partie basse du frein sera installée à la cote de 53.90 (+30cm // radier du cadre). Le frein faisant 1,00 m de hauteur, la partie haute du frein sera donc installée à la cote de 54,90.

Afin de s'assurer de la bonne tenue du frein hydraulique sur le cadre, deux notes de calculs ont été réalisées :

- Note de calcul pour le dimensionnement du frein hydraulique vis-à-vis de la poussée de l'eau ainsi que la prise en compte d'un impact d'embâcle projeté sur le frein avec le débit de la Verse de Beaugies.
- Note de calcul pour s'assurer de la bonne stabilisé de l'ouvrage de franchissement avec la mise en place du frein.

La conclusion de ces deux notes (fournies en annexes 1 et 2 du présent document) est que le frein hydraulique est correctement dimensionné et que l'ouvrage de franchissement ne se trouve pas impacter par la poussée de l'eau et l'impact d'embâcle.

4.4 Autres solutions envisageables

D'autres solutions sont, toutefois, envisageables afin d'éviter tout impact hydraulique négatif du projet d'ouverture de la Verse de Beaugies en attendant la réalisation des ouvrages de compensation.

Ces solutions consistent toutes les trois à conserver les deux ouvrages de franchissement sous la rue de la Reconnaissance et la rue Marcel Poulin.

La différence entre ces solutions est uniquement liée au phasage de réalisation.

4.4.1 Solution alternative n°1

Cette solution consiste à conserver les deux ouvrages de franchissement existants et à créer 3 ouvrages de raccordement provisoires (1 au niveau de la rue de la Reconnaissance, 1 au niveau de la rue Charles Herbert et 1 au niveau de la rue Marcel Poulin / Place de Magny).

Dans cette solution, les ouvrages de raccordement provisoires seront réalisés dans la continuité des travaux en cour de réalisation sans interruption de chantier.

La date prévisionnelle de la fin des travaux de réouverture est prévue pour fin 2019. Les deux ouvrages existants pourront être démolis dans la continuité des travaux de réouverture pour la fin 2019 / début 2020.

Cela nécessite la réalisation des ouvrages de compensation avant la fin des travaux de réouverture (Hors ouvrages de franchissement existant) avant la fin 2019.

4.4.2 Solution alternative n°2

Cette solution est similaire à la première (3 ouvrages de raccordement provisoires).

La différence avec la première solution est que ces ouvrages seront réalisés après les travaux de réouverture avec une interruption de chantier plus ou moins longue en fonction de l'aménagement des ouvrages de compensation (2^{ème} semestre 2020 ou plus tard).

Cette interruption de chantier engendre des coûts de repliement et d'amenée de matériels supplémentaires.

4.4.3 Solution alternative n°3

Cette solution consiste toujours à conserver les deux ouvrages de franchissements existants et à créer uniquement un ouvrage de raccordement provisoire (au niveau de la place de Magny).

La date prévisionnelle de la fin des travaux de réouverture jusqu'à la place de Magny est prévue pour fin 2018, début 2019.

Les travaux de réouverture entre la rue Marcel Poulin et la rue de la reconnaissance ainsi que les travaux de restauration en amont de la commune de Guiscard seront réalisés après l'aménagement des ouvrages de compensation avec une interruption de chantier (fin 2019 ou plus tard).

Cette interruption de chantier engendre des coûts de repliement et d'amenée de matériels supplémentaires.

Les caractéristiques des 3 ouvrages de raccordement provisoires sont fournies en annexe 3 du présent document.

5

Comparatif des coûts prévisionnels

Les prix unitaires des différentes solutions ont été calculés avec les prix constatés lors de la première consultation des entreprises qui prévoyait l'interruption des travaux et la conservation des ouvrages de franchissement existants jusqu'à la réalisation des ouvrages de compensation.

5.1 Coût prévisionnel du frein hydraulique

La réalisation du frein hydraulique au niveau de l'ouvrage de franchissement n°4 est estimée à :

Montant en € HT :	16 000,00 €
TVA (20%) :	3 200,00 €
Montant en € TTC :	19 200,00 €

5.2 Coût prévisionnel de la solution alternative n°1

La réalisation de cette solution (Création de 3 ouvrages provisoires dans la continuité des travaux de réouverture) est estimée à :

Montant en € HT : 359 400,00 €

TVA (20%) : 71 880,00 €

Montant en € TTC : 431 280,00 €

Le détail quantitatif estimatif de cette solution est indiqué ci-dessous :

N° Prix	Libellé	Unité	Quantités Prévues	Prix Unitaire	Montant H.T.
1 - Ouvrage de raccordement provisoire					
1.1	Réalisation d'ouvrage de raccordement provisoire				
1.1.1	- Ouvrage de raccordement au niveau de la rue Charles Herbert et de la rue de la Reconnaissance (cf. détail n°08-19)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.1.2	- Ouvrage de raccordement au niveau de la rue Charles Herbert et de la rue Marcel Poulin (cf. détail n°08-20)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.1.3	- Ouvrage de raccordement au niveau de la Place de Magny (cf. détail n°08-21)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.2	Réalisation de soutènement provisoire	ml	100,000	1 400,000	140 000,000
1 - Ouvrage de raccordement provisoire				TOTAL	170 000,00
2 - Démolition des ouvrages provisoires et mise en œuvre des ouvrages définitifs					
2.1	Démolition d'ouvrage de raccordement provisoire	u	3,000	3 000,000	9 000,00
2.2	Réalisation de soutènement pour constitution du canal				
2.2.1	Rideau de palplanches verrinées	ml	50,000	1 700,000	85 000,00
2.3	Réalisation d'un radier béton en fond de canal y compris grave drainante sur 1,00 m d'épaisseur	m ²	370,000	170,000	62 900,00
2.4	Fourniture et pose de brise flot	u	42,000	250,000	10 500,00
2.5	Fourniture et pose de buton	u	2,000	1 000,000	2 000,00
2.6	Réalisation d'une poutre de couronnement	ml	50,000	400,000	20 000,00
2 - Démolition des ouvrages provisoires et mise en œuvre des ouvrages définitifs				TOTAL	189 400,00

5.3 Coût prévisionnel de la solution alternative n°2

La réalisation de cette solution (Création de 3 ouvrages provisoires après les travaux de réouverture / interruption de chantier) est estimée à :

Montant en € HT : 609 400,00 €

TVA (20%) : 121 880,00 €

Montant en € TTC : 731 280,00 €

Le détail quantitatif estimatif de cette solution est indiqué ci-dessous :

N° Prix	Libellé	Unité	Quantités Prévue	Prix Unitaire	Montant H.T.
1 - Ouvrage de raccordement provisoire dans la continuité du présent marché de travaux					
1.1	Réalisation d'ouvrage de raccordement provisoire				
1.1.1	- Ouvrage de raccordement au niveau de la rue Charles Herbert et de la rue de la Reconnaissance (cf. détail n°08-19)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.1.2	- Ouvrage de raccordement au niveau de la rue Charles Herbert et de la rue Marcel Poulin (cf. détail n°08-20)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.1.3	- Ouvrage de raccordement au niveau de la Place de Magny (cf. détail n°08-21)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.2	Réalisation de soutènement provisoire	ml	100,000	1 400,000	140 000,000
				TOTAL	170 000,00
Après la fin des travaux de réouverture et de restauration de la Verse (Interruption de chantier)					
2 - Généralités					
2.1	Installation et repliement de chantier, implantation et piquetage des ouvrages et épuisement des eaux de toutes natures	F	1,000	150 000,000	150 000,000
2.2	Signalisation de chantier	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.3	Entretien des voies avoisinantes	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.4	Constat d'huissier	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.5	Etudes et plans d'exécution des ouvrages	F	1,000	20 000,000	20 000,000
2.6	Dossier de recolement et des ouvrages exécutés	F	1,000	50 000,000	50 000,000
				TOTAL	250 000,00
3 - Démolition des ouvrages provisoires et mise en œuvre des ouvrages définitifs					
3.1	Démolition d'ouvrage de raccordement provisoire	u	3,000	3 000,000	9 000,000
3.2	Réalisation de soutènement pour constitution du canal				
3.2.1	Rideau de palplanches verrinées	ml	50,000	1 700,000	85 000,000
3.3	Réalisation d'un radier béton en fond de canal y compris grave drainante sur 1,00 m d'épaisseur	m ²	370,000	170,000	62 900,000
3.4	Fourniture et pose de brise flot	u	42,000	250,000	10 500,000
3.5	Fourniture et pose de buton	u	2,000	1 000,000	2 000,000
3.6	Réalisation d'une poutre de couronnement	ml	50,000	400,000	20 000,000
				TOTAL	189 400,00

5.4 Coût prévisionnel de la solution alternative n°3

La réalisation de cette solution (Création d'un seul ouvrage provisoire et interruption de chantier) est estimée à :

Montant en € HT : 485 400,00 €

TVA (20%) : 97 080,00 €

Montant en € TTC : 582 480,00 €

Le détail quantitatif estimatif de cette solution est indiqué ci-dessous :

N° Prix	Libellé	Unité	Quantités Prévues	Prix Unitaire	Montant H.T.
1 - Ouvrage de raccordement provisoire dans la continuité du présent marché de travaux					
1.1	Réalisation d'ouvrage de raccordement provisoire				
1.1.1	- Ouvrage de raccordement au niveau de la Place de Magny (cf. détail n°08-21)	u	1,000	10 000,000	10 000,000
1.2	Réalisation de soutènement provisoire	ml	30,000	1 400,000	42 000,000
1 - Ouvrage de raccordement provisoire dans la continuité du présent marché de travaux				TOTAL	52 000,00
Après la fin des travaux de réouverture et de restauration de la Verse (Interruption de chantier)					
2 - Généralités					
2.1	Installation et repliement de chantier, implantation et piquetage des ouvrages et épuisement des eaux de toutes natures	F	1,000	150 000,000	150 000,000
2.2	Signalisation de chantier	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.3	Entretien des voies avoisinantes	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.4	Constat d'huissier	F	1,000	10 000,000	10 000,000
2.5	Etudes et plans d'exécution des ouvrages	F	1,000	20 000,000	20 000,000
2.6	Dossier de recolement et des ouvrages exécutés	F	1,000	50 000,000	50 000,000
2 - Généralités				TOTAL	250 000,00
3 - Démolition des ouvrages provisoires et mise en œuvre des ouvrages définitifs					
3.1	Démolition d'ouvrage de raccordement provisoire	u	1,000	3 000,000	3 000,000
3.2	Réalisation de soutènement pour constitution du canal				
3.2.1	Rideau de palplanches verrinées	ml	50,000	1 700,000	85 000,000
3.3	Réalisation d'un radier béton en fond de canal y compris grave drainante sur 1,00 m d'épaisseur	m ²	370,000	170,000	62 900,000
3.4	Fourniture et pose de brise flot	u	42,000	250,000	10 500,000
3.5	Fourniture et pose de buton	u	2,000	1 000,000	2 000,000
3.6	Réalisation d'une poutre de couronnement	ml	50,000	400,000	20 000,000
3 - Démolition des ouvrages provisoires et mise en œuvre des ouvrages définitifs				TOTAL	183 400,00

5.5 Récapitulatif des coûts prévisionnels

Montant en € HT

Frein hydraulique :	16 000,00 €
Solution alternative n°1 :	359 400,00 €
Solution alternative n°2 :	609 400,00 €
Solution alternative n°3 :	485 400,00 €

Annexe 1

Note de calcul / Dimensionnement du frein

Définition des actions :

Poids propre du cadre :

$$P_{\text{cadre}} = S_{\text{cadre}} \times \rho_{\text{béton}}$$

$$(3,420 \times 2,42 - 3,00 \times 2,00) \times 25,00 = 56,91 \text{ kN/ml}$$

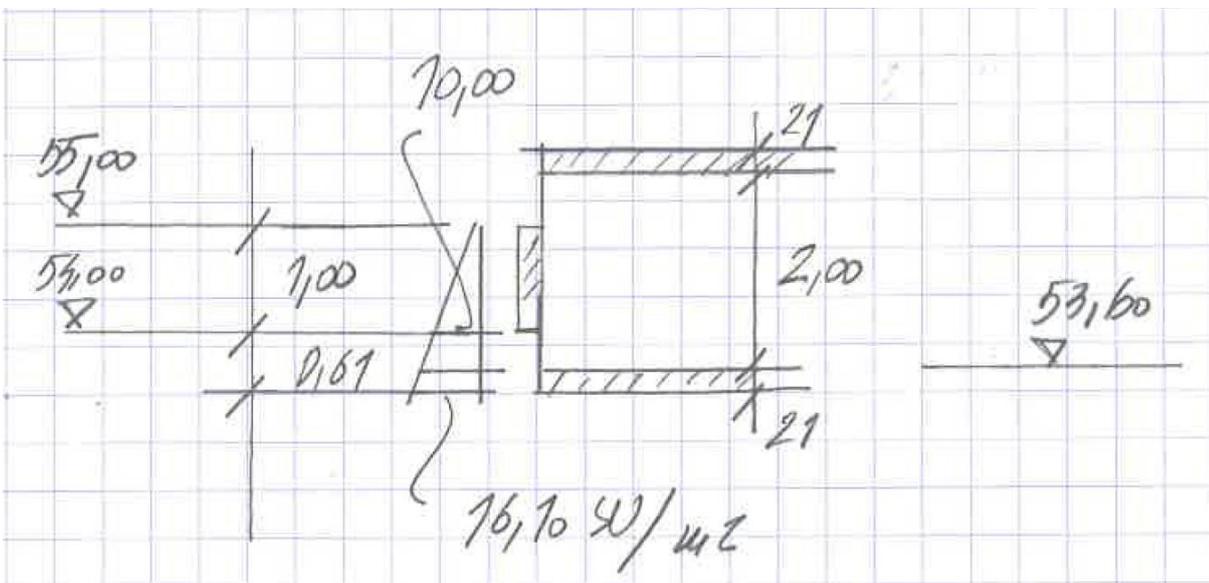
Poids des remblais sur traverse :

$$P_{\text{remblai}} = S_{\text{remblai}} \times \rho_{\text{remblai}}$$

$$(56,20 - 55,61) \times 3,420 \times 20,00 = 40,35 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Soit } P_{\text{total}} = 97.26 \text{ kN/ml}$$

Poussée d'eau :



$$H = 1/2 * \rho_{\text{eau}} * g * H^2 + \text{poussée sur cadre}$$

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{1}{2} \times 10 \times 1,00 + \frac{14,00 + 16,10}{2} \times 0,21 \\
 &= 5,00 + 3,16 = 8,16 \text{ kN/ml} \\
 &\quad \times 3,42 = 27,90 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Vérification de la stabilité :

Avec 1 cadre :

$$V_2 = L_{cadre} * P_{total}$$

$$V_2 = 2,00 \times 97,26 = 194,52 \text{ kN}$$

$$H_x = 27,90 \text{ kN}$$

Glissement :

$$V_2 * \text{coef minoration} > H_x * \text{coef majoration}$$

$$194,52 \times \frac{\text{tg } 30}{1,50} > 1,35 \times 27,90$$

$$74,87 \text{ kN} > 37,66 \text{ kN}$$

La poussée d'eau est reprise déjà par le poids du 1er cadre.

Pression sur béton :

$$p_{max} = \frac{\text{force de l'eau} \times \text{largeur}}{2}$$

$$p_{max} = \frac{10 \times 3,42}{2} = 17,10 \text{ kN/ml}$$

$$\sigma_b = \frac{p_{max}}{e} = \frac{0,01710}{0,21} = 0,081 \text{ MPa}$$

Avec béton < 35/45 :

$$\sigma_b = K1 * \text{resistance compression} = 0,60 \times 35 = 21,00 \text{ MPa} \gg 0,081 \text{ MPa}$$

La pression sur le béton est négligeable.

Conclusion :

Le panneau d'obturation partielle peut être bloqué contre le cadre béton de DH6.

Annexe 2

Note de calcul / Stabilité de l'ouvrage de franchissement

1. Objet de la note de calcul:

Cette note présente le dimensionnement d'un cadre monolithique de section intérieure : 3 x 2 m.
L'ouvrage est justifié sur la base des hypothèses générales et des données particulières indiquées ci-après.

2. Structure de l'ouvrage:

Cette note présente le dimensionnement d'un cadre de section intérieure 3 x 2 m.

Les épaisseurs principales retenues sont les suivantes:

Epaisseur dalle:	0,21 m	
Epaisseur piédroit:	0,21 m	
Epaisseur radier mini (hors cunette) :	0,21 m	/ Epaisseur radier au droit de cunette 0,21 m
Largeur gousset:	0,2 m	
Hauteur gousset:	0,2 m	
Longueur d'élément:	2 m	

Dalle de répartition:

Epaisseur dalle de répartition:	0 m
---------------------------------	-----

3. Matériaux:

Béton :

Poids volumique:	25 KN/m ³
Résistance à la compression, f _{ck} :	35 MPa
Coefficient de sécurité, γ _c :	1,5

Acier:

Limite d'élasticité f _{yk} :	500 MPa
Coefficient de sécurité, γ _s :	1,15
Module d'élasticité E _s	200000 MPa
Condition d'adhérence:	Bonne

Remblai :

Hauteur du remblai:	0,89 m
Poids volumique:	20 KN/m ³
Angle de frottement interne:	25 degrés
Coefficient de poussée latérale Min:	0,25
Coefficient de poussée latérale Max:	0,5

4. Charges:

Poussées hydrostatiques:

Extérieur (Nappe phréatique):	Poids volumique de la nappe : 10 KN/m ³ Hauteur de la nappe / sous face radier : 2,42 m
Intérieur (Effluent):	Poids volumique de l'effluent : 10 KN/m ³

Charges permanentes uniformément réparties

Charges uniformément réparties sur le cadre:	0 KN/m ²
Charges uniformément réparties à côté du cadre:	0 KN/m ²

Surcharges uniformément réparties

Surcharges uniformément réparties sur le cadre:	0 KN/m ²
Surcharges uniformément réparties à côté du cadre:	0 KN/m ²
Surcharges uniformément réparties sur et à côté du cadre:	0 KN/m ²

Surcharges sur le remblai:

Une charge uniforme, appliquée sur une surface rectangulaire adaptée et équivalente au véhicule considéré, est placée derrière les piédroits.

Surcharges EUROCODE:

LM1 , LM2 ,
Classe du trafic: 2ème classe

Surcharges de véhicules spéciaux:

Sans objet

Surcharges particulières: Sans Objet

a) Dimensions dans le sens de circulation:

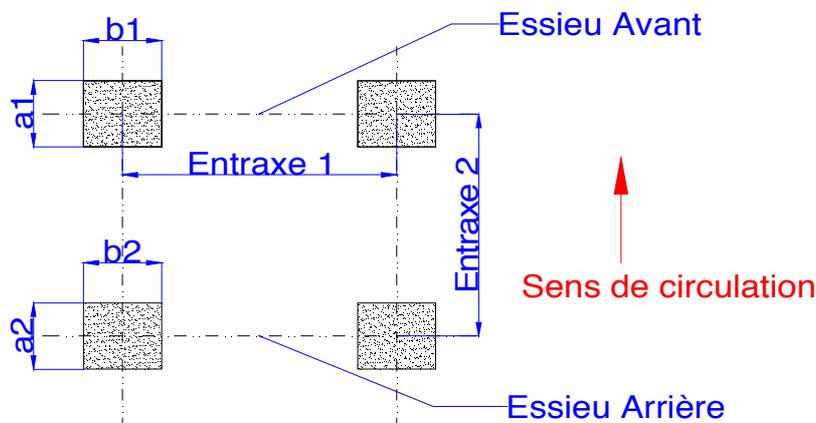
Roue avant	Largeur a1=	0 m	Longueur b1=	0 m
Roue arrière	Largeur a2=	0 m	Longueur b2=	0 m

b) Charges dans le sens de circulation :

Q1 essieu avant =	0 kN
Q2 essieu arrière =	0 kN

c) Entraxes :

Entraxe 1 =	0 m
Entraxe 2 =	0 m



Surcharges ferroviaires Sans Objet

5. Environnement:

La classe d'exposition est: XF1

Enrobage

La durée du projet est estimée à 50 ans	
Nature du liant :	à base de CEM-1 sans cendres volants
Diamètre maximal des granulats :	Inf à 32 mm
Condition d'enrobage :	compact
Marge pour tolérances d'exécution, Δc_{dev} :	5 mm
Enrobage minimal, C_{min} :	25 mm
Enrobage nominal, C_{nom} :	30 mm

Fissuration

Valeur limite d'ouvertures des fissures, W_{max} :	0,3	mm
------------------------------------------------------	-----	----

6. Documents de référence:

Fascicule 61 titre II
NF EN 1990 + AN
NF EN 1991-1-1 + AN et NF EN 1991-2 + AN
NF EN 1992-1+ AN et NF EN 1992-2 + AN
Formulaire des cadres simples A.KLEINLOGEL / W.HASELBACH

7. Dimensionnement du cadre:

7.1 Préliminaire:

Le calcul des sollicitations dans l'ouvrage est effectué à l'aide de la méthode analytique RDM.
Référence bibliographiques: " Formulaire des cadres simples " - A.KLEINLOGEL/ W. HASELBACH .

7.2 Charges et surcharges prises en compte:

7.2.1 Charges permanentes:

Poids propre de l'ouvrage:

Il est pris en compte avec un poids volumique de: 25 KN/m³

Poids propre de la dalle de répartition: 0 KN/m²
Poids propre de la dalle: 5,25 KN/m²
Poids propre radier: 5,25 KN/m²
Poids propre du Piedroit: 11,6 KN/ml

Poids de recouvrement sur la dalle:

Coefficient de Marston : 1,05

Poids volumique du remblai : 20 KN/m³
Hauteur de recouvrement hors nappe : 0,89 m
Pression Verticale du Remblai : 18,71 KN/m²

Poids volumique du remblai déjaugé : 13 KN/m³
Hauteur de recouvrement dans la nappe : 0 m
Pression Verticale du Remblai déjaugé : 0 KN/m²

Poussée des terres:

L'intensité de la poussée est calculée avec un coefficient de RANKINE **0,25 - 0,5**

Poussée des terres(kN/m ²)	Axe de la dalle		Axe de radier	
	mini	maxi	mini	maxi
Avec nappe	4,79	9,58	11,97	23,95
Sans nappe	4,97	9,95	16,02	32,05

Charges permanentes uniformément réparties:

Nous distinguons deux catégories de charges uniformément réparties:

Charges uniformément réparties sur le cadre: 0 KN/m²
Charges uniformément répartie à côté du cadre: 0 KN/m²

7.2.2 Surcharges:

Sens de la circulation par rapport à l'ouvrage:

Le sens de circulation est transversal

Poussées hydrostatiques:

Extérieur (Nappe phréatique):

Poids volumique de la nappe : 10 KN/m³

Hauteur de la nappe au dessus de la dalle : 0 m

Pression Verticale de la nappe : 0 KN/m²

Poussée de la nappe au niveau de l'axe de la dalle: 1,05 KN/m²

Poussée de la nappe au niveau de l'axe du radier: 23,15 KN/m²

Intérieur (Effluent):

Poids volumique de l'effluent : 10 KN/m³

Poussée de l'effluent en pied: 20 KN/m²

Pression de l'effluent contenu: 20 KN/m²

Surcharges sur le remblai:

Surcharge prise en considération sur les remblais:

Une charge uniforme, appliquée sur une surface rectangulaire adaptée et équivalente au véhicule considéré, est placée derrière les piédroits.

Surcharges routières civiles (Fascicule 61 titre II): sans objet

Surcharges militaires ou exceptionnelles:

La diffusion des surcharges dans le remblai est conduit comme suit :

largeur : a0 m longueur : b0 m

Poids maxi porté par chaque roue : Q kN

largeur diff. (m) : $a = a0 + 2 * Hr_chaussée * tg(\Phi_remb) + 2 * (Ep_Dal/2) * tg(\Phi_béton)$

longueur diff. (m) : $b = b0 + 2 * Hr_chaussée * tg(\Phi_remb) + 2 * (Ep_Dal/2) * tg(\Phi_béton)$

Surface diff. (m²) : $S = \text{largeur diff.} * \text{longueur diff.} = a * b$

Détermination de la pression diffusée par chaque roue sur la dalle de couverture :

$$P(\text{kN/m}^2) = Q / \text{Surface diff.}$$

Coefficient dynamique:

$$\delta = 1 + 0,7 / (1 + 0,2L)$$

avec:

L: longueur de la dalle

Charges militaires:

	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
MC80	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Me80	0	0	0	0,00	0,00	0,00
MC120	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Me120	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Coefficient dynamique applicable sur les surcharges militaires

	G	S	δ
MC80	-	0,00	1,00
Me80	-	0,00	1,00
MC120	-	0,00	1,00
Me120	-	0,00	1,00

$\delta = 1,00$, est le coefficient dynamique retenu pour le système Mc;
 $\delta = 1,00$, est le coefficient dynamique retenu pour le système Me.

Convois exceptionnels:

	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
Convoi D	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Convoi E	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Coefficient applicable aux convois exceptionnels :

Convois D et E, fascicule 61 titre II: 1,00

Charges particulières:

Entraxe ds sens longitudinal (entraxe 1): 0,00 m
 Entraxe ds sens transversal (entraxe 2): 0,00 m

	Q[KN]	a1[m]	b1[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
Charge AV	0	0	0	1,04	0,00	0,00
	Q[KN]	a2[m]	b2[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
Charge AR	0	0	0	1,04	0,00	0,00

Coefficient dynamique:

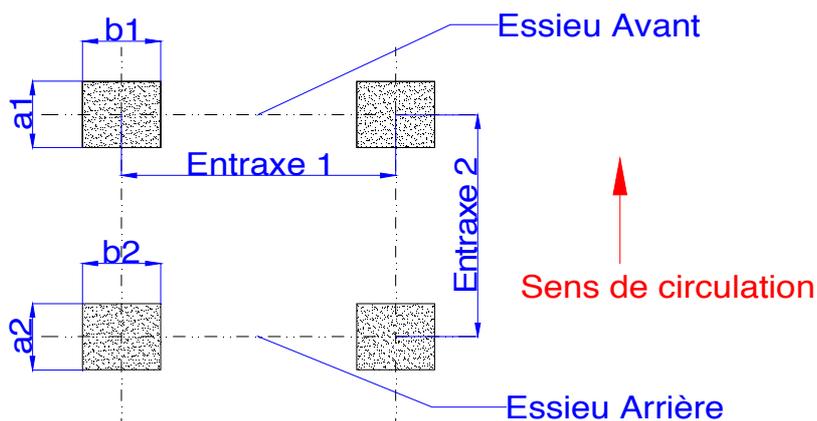
$$\delta = 1 + 0,7 / (1 + 0,2L)$$

avec:

L: longueur de la dalle

Sens de circulation: $\delta = 0,00$, est le coefficient dynamique retenu pour les charges particulières ;
 Transversal

Dessin représentatif



Surcharges routières EUROCODE:

Classe de trafic:

La classe de trafic routier est la 2ème classe

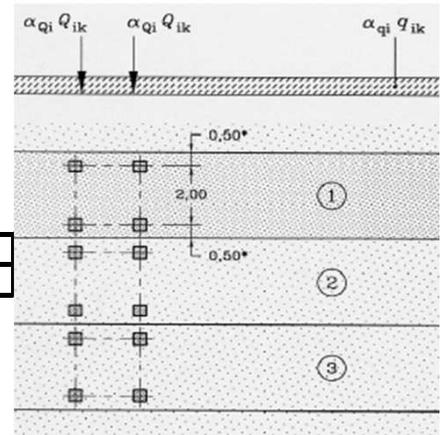
Charge LM1:

Le modèle de charge LM1 consiste en deux systèmes partiels:

Des charges concentrées à double essieu (Tandem:TS)

Des charges uniformément réparties (Système UDL)

a) LM1 TS: (le coefficient d'ajustement est déjà affecté aux charges)



LM1 TS retenu	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m²]
	215,0	0,40	1,40	1,44	2,44	61,2

LM1 TS retenu	Entraxe 1*	Entraxe 2*
	0,0	1,2

* Entraxes dans le sens de circulation du trafic routier

b) LM1 UDL: (le coefficient d'ajustement est déjà affecté aux charges)

LM1 UDL retenu	q1[KN/m²]	q2[KN/m²]	q3[KN/m²]
	6,3	0,0	0,0

largeur d'application de qi = 3m

Charge LM2:

Le modèle de charge LM2, consiste en une charge d'essieu unique, qu'il convient d'appliquer en un point quelconque de la chaussée.

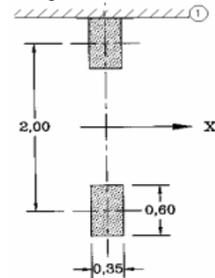
Entraxe: m

β_Q :

Avec β_Q coefficient d'ajustement

(le coefficient d'ajustement est déjà affecté aux charges)

LM2 retenu	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m²]
	160	0,35	0,6	1,39	1,64	70,23



Engin de terrassement 23 m³:

Le modèle de charge pour l'engin de terrassement 23m³ est composé d'impacts de 4 roues (carré de 0,6m de côté) avec un entraxe longitudinal de 2m et transversal de 7,5m.

La charge de l'essieu avant est de 700KN.

La charge de l'essieu arrière est de 500 KN.

	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m²]
Roue AV	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Roue AR	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Entraxe: m

Engin de terrassement 34 m³:

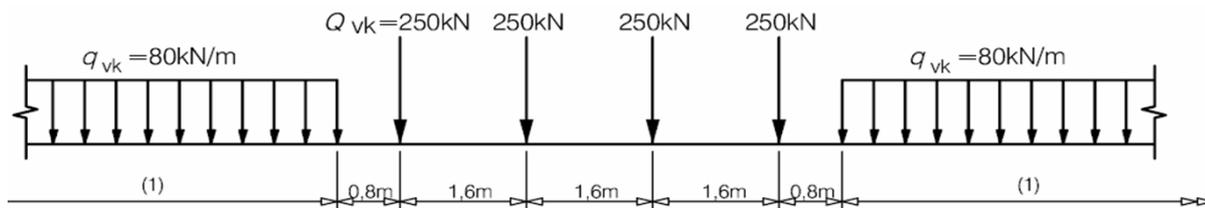
Le modèle de charge pour l'engin de terrassement 34m³ est composé d'impacts de 4 roues (carré de 0,6m de côté) avec un entraxe longitudinal de 2,4m et transversal de 9,5m.

La charge de l'essieu avant et arrière est de 750KN.

	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
Roue AV/AR	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Entraxe: m

Surcharges ferroviaires:



	Q[KN]	a0[m]	b0[m]	a[m]	b[m]	P[KN/m ²]
UIC71	0	0	0	0	0,00	0,00

Coefficient dynamique:

$$\phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.82 \quad \text{avec : } 1.00 \leq \phi_2 \leq 1.67$$

$\Phi_2 =$, est le coefficient dynamique retenu pour les charges ferroviaires ;

7.3 Combinaisons:

7.3.1 Coefficients de pondération des charges et surcharges aux états limites:

Le calcul des combinaisons prend en compte les coefficients de pondération aux différents états limites, le tableau ci-dessous résume ces coefficients:

	G	Qh	QM, QE	QET	Qpart	QsnCF
ELS Freq.	1	1	0,85	0,85	1	0,8
ELS Q.P.	1	1	0	0	0	0
ELS Caract.	1	1	1	1	1	1
ELU fond.	1,35	1,2	1,35	1,35	1,35	1,45

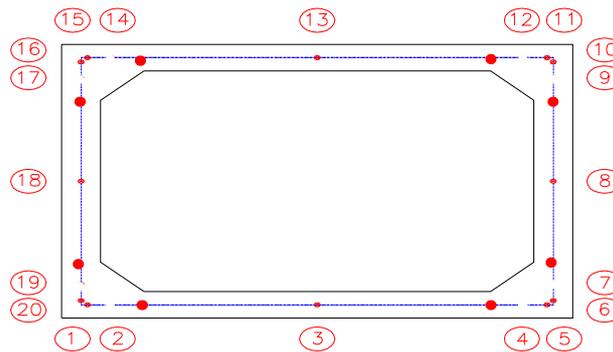
	LM1 TS	LM1 UDL	LM2
ELS Freq.	0,75	0,4	0,75
ELS Q.P.	0	0	0
ELS Caract.	1	1	1
ELU fond.	1,35	1,35	1,35

- Gmax: Actions permanentes Maxi
- Gmin: Actions permanentes Mini
- Qh: Actions hydrostatiques (Nappe et effluent intérieur)
- Qr: Charges routières (Fascicule 61 titre II)
- Qm: Charges militaires
- Qe: Charges exceptionnelles
- Qre: Charges routières (EUROCODE)
- Qet: Charges de chantier (engin de terrassement)
- Qpart: Surcharges particulières
- Quni-rep: Surcharges uniformément réparties
- QsnCF: Surcharges ferroviaires

7.4 Sollicitations:

7.4.1 Méthodologie de calcul des sollicitations:

Le calcul des sollicitations est fait en vingt points appartenant au cadre.
Pour chaque élément du cadre : Piedroit, dalle et radier, les sollicitations sont calculées en cinq points.
La figure ci-dessous présente les points de calcul et le tableau résume les coordonnées de ces points.



Coordonnées

	Points	X	Y
RADIER	1	0	0
	2*	0,3	0
	3	1,6	0
	4*	2,9	0
	5	3,21	0
PIEDROIT DROIT	6	3,21	0
	7*	3,21	0,3
	8	3,21	1,1
	9*	3,21	1,9
	10	3,21	2,21
DALLE	11	3,21	2,21
	12*	2,9	2,21
	13	1,6	2,21
	14*	0,3	2,21
	15	0	2,21
PIEDROIT GAUCHE	16	0	2,21
	17*	0	1,9
	18	0	1,1
	19*	0	0,3
	20	0	0

Nota*: Les moments sont décalé de + / - 0,9h pour déterminer le ferrailage à la sortie du gousset.

7.4.2 Enveloppe des sollicitations:

Moments:

Convention de signe : M>0, Moment fléchissant tendant la fibre intérieure du cadre.

Les diagrammes des moments fléchissant sont joints en Annexe 1, et récapitulés dans les tableaux suivants:

Nota: les valeurs données en kN.m /ml.

a) Radier :

Points		1	2	3	4	5
ELS Freq.	Max	-9,22	-3,33	58,41	-3,33	-9,22
	Min	-48,41	-35,18	17,35	-35,18	-48,41
ELS Q.P.	Max	-16,56	-10,96	23,61	-10,96	-16,56
	Min	-20,20	-14,60	19,97	-14,60	-20,20
ELS Caract.	Max	-6,77	-0,79	72,31	-0,79	-6,77
	Min	-60,47	-44,22	16,48	-44,22	-60,47
ELU fond.	Max	-9,41	-1,33	97,34	-1,33	-9,41
	Min	-81,63	-59,69	22,24	-59,69	-81,63

b) Piedroit droit :

Points		6	7	8	9	10
ELS Freq.	Max	-9,22	-9,79	1,93	-6,65	-7,31
	Min	-48,41	-43,68	-38,01	-43,94	-46,53
ELS Q.P.	Max	-16,56	-16,40	-4,69	-11,68	-11,65
	Min	-20,20	-16,96	-13,80	-13,03	-14,81
ELS Caract.	Max	-6,77	-7,59	4,13	-4,97	-5,86
	Min	-60,47	-54,97	-47,58	-56,52	-59,47
ELU fond.	Max	-9,41	-10,27	5,58	-6,81	-8,14
	Min	-81,63	-74,21	-63,56	-76,18	-80,28

c) Dalle:

Points		11	12	13	14	15
ELS Freq.	Max	-7,31	-3,41	61,28	-3,41	-7,31
	Min	-46,53	-33,82	13,72	-33,82	-46,53
ELS Q.P.	Max	-11,65	-7,35	19,21	-7,35	-11,65
	Min	-14,81	-10,51	16,04	-10,51	-14,81
ELS Caract.	Max	-5,86	-2,09	77,60	-2,09	-5,86
	Min	-59,47	-43,37	12,95	-43,37	-59,47
ELU fond.	Max	-8,14	-3,05	104,53	-3,05	-8,14
	Min	-80,28	-58,55	17,48	-58,55	-80,28

c) Piedroit gauche:

Points		16	17	18	19	20
ELS Freq.	Max	-7,31	-6,65	1,93	-9,79	-9,22
	Min	-46,53	-43,94	-38,01	-43,68	-48,41
ELS Q.P.	Max	-11,65	-11,68	-4,69	-16,40	-16,56
	Min	-14,81	-13,03	-13,80	-16,96	-20,20
ELS Caract.	Max	-5,86	-4,97	4,13	-7,59	-6,77
	Min	-59,47	-56,52	-47,58	-54,97	-60,47
ELU fond.	Max	-8,14	-6,81	5,58	-10,27	-9,41
	Min	-80,28	-76,18	-63,56	-74,21	-81,63

Effort tranchant:

Les diagrammes des efforts tranchants sont joints en Annexe 2.
Nota: Les valeurs sont données en kN/ml.

a) Radier :

Les points		1	2	3	4	5
ELU	Max	219,49	205,96	39,12	-56,97	-61,40
	Min	61,40	56,97	-32,30	-205,96	-219,49

b) Piedroit droit :

Les points		6	7	8	9	10
ELU	Max	76,49	70,10	18,64	1,62	1,37
	Min	-12,60	-12,86	-15,01	-43,91	-50,30

c) Dalle

Les points		11	12	13	14	15
ELU	Max	224,64	211,11	37,45	-56,52	-61,40
	Min	61,40	56,52	-44,26	-211,11	-224,64

d) Piedroit gauche

Les points		16	17	18	19	20
ELU	Max	50,30	43,91	15,01	12,86	12,60
	Min	-1,37	-1,62	-18,64	-70,10	-76,49

Effort tranchant maximal : 224,64 kN/ml

7.5 Dimensionnement des armatures : flexion simple

Le dimensionnement des armatures est conduit conformément à l'EUROCODE 2.

7.5.1 Contraintes limites :

a) Contraintes limites de compression dans le béton:

Contrainte de compression du béton à l'E.L.S caractéristique:

$$\sigma_c = \boxed{K1 \cdot f_{ck} = 21 \text{ MPa}}, \text{ avec } K1 = 0,6$$

Contrainte de compression du béton à l'E.L.S quasi-permanent:

$$\sigma_c = \boxed{K2 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}}, \text{ avec } K2 = 0,45$$

b) Contraintes limites de traction dans les aciers:

Contrainte de traction dans l'acier à l'E.L.S caractéristique:

$$\sigma_s = \boxed{300 \text{ MPa}}, \text{ pour éviter la vérification de fatigue}$$

Contrainte de traction dans l'acier à l'E.L.S quasi permanent:

$$\sigma_s = \boxed{K4 \cdot f_{yk} = 500 \text{ MPa}}, \text{ avec } K4 = 1$$

Les sections minimales à mettre en œuvre pour vérifier le pourcentage de non fragilité sont égales à :

	Dalle	Piédroits	Radier	Angles
Amin [cm ² /m]	2,87	2,90	2,87	3,98

Nota : pour l'ensemble des parties de l'ouvrage on veillera à mettre en œuvre une quantité d'acier de répartition (perpendiculairement aux aciers principaux) au moins égale à 20% des aciers principaux sans toutefois être inférieure au pourcentage de non fragilité.

7.5.2 Ferrailage du cadre:

a) Calcul des sections d'aciers, nombre de barres, contraintes et ouverture de fissures:

a) Radier:

Nota: Les valeurs ci-dessous sont calculées par pièce.

Nappe extérieure					
	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	14,96	15,61	5,74	15,61	14,96
Diamètre des barres[mm]	12	12	8	12	12
Nombre de barres	23	23	12	23	23
Section réelle [cm ² /p]	26,01	26,01	6,03	26,01	26,01
σ CARAC [Mpa]	6,73	8,46	0,00	8,46	6,73
σ Q-P [Mpa]	2,25	2,79	0,00	2,79	2,25
σ s CARAC [Mpa]	218,81	225,27	0,00	225,27	218,81
WK [mm]	0,10	0,09	0,00	0,09	0,10

Nappe intérieure					
	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	8,10	5,88	27,60	5,88	8,10

Panneaux principal :

Diamètre des barres[mm]	16	16	16	16	16
Nombre de barres	18	18	18	18	18
Section réelle [cm ² /p]	36,19	36,19	36,19	36,19	36,19

Armature de renfort :

Diamètre des barres[mm]	0	0	0	0	0
Nombre de barres	0	0	0	0	0
Section réelle [cm ² /p]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Section réelle tot [cm ² /p]	36,19	36,19	36,19	36,19	36,19
-----------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

σ CARAC [Mpa]	0,00	0,00	12,76	0,00	0,00
σ Q-P [Mpa]	0,00	0,00	4,16	0,00	0,00
σ s CARAC [Mpa]	0,00	0,00	273,42	0,00	0,00
WK [mm]	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00

b) Piedroit droit:

Nappe extérieure					
	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	14,96	19,84	16,72	20,43	14,69
Diamètre des barres[mm]	12	12	12	12	12
Nombre de barres	23	23	23	23	23
Section réelle [cm ² /p]	26,01	26,01	26,01	26,01	26,01
σ CARAC [Mpa]	6,73	10,52	9,10	10,81	6,62
σ Q-P [Mpa]	2,25	3,25	2,64	2,49	1,65
σ s CARAC [Mpa]	218,81	280,05	242,40	287,94	215,19
WK [mm]	0,10	0,13	0,10	0,13	0,10

Nappe intérieure					
	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	8,10	5,88	5,88	5,88	8,10
Diamètre des barres[mm]	8	8	8	8	8
Nombre de barres	17	17	17	17	17
Section réelle [cm ² /p]	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55
σ_b CARAC [Mpa]	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00
σ_b Q-P [Mpa]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
σ_s CARAC [Mpa]	0,00	0,00	60,04	0,00	0,00
WK [mm]	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00

c) Dalle:

Nappe extérieure					
	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	14,69	15,28	5,88	15,28	14,69
Diamètre des barres[mm]	12	12	8	12	12
Nombre de barres	23	23	12	23	23
Section réelle [cm ² /p]	26,01	26,01	6,03	26,01	26,01
σ_b CARAC [Mpa]	6,62	8,30	0,00	8,30	6,62
σ_b Q-P [Mpa]	1,65	2,01	0,00	2,01	1,65
σ_s CARAC [Mpa]	215,19	220,98	0,00	220,98	215,19
WK [mm]	0,10	0,08	0,00	0,08	0,10

Nappe intérieure					
	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	8,10	5,88	29,06	5,88	8,10
Diamètre des barres[mm]	16	16	16	16	16
Nombre de barres	18	18	18	18	18
Section réelle [cm ² /p]	36,19	36,19	36,19	36,19	36,19
σ_b CARAC [Mpa]	0,00	0,00	13,69	0,00	0,00
σ_b Q-P [Mpa]	0,00	0,00	3,39	0,00	0,00
σ_s CARAC [Mpa]	0,00	0,00	293,43	0,00	0,00
WK [mm]	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00

d) Piedroit gauche:

Nappe extérieure					
	Point 16	Point 17	Point 18	Point 19	Point 20
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	14,69	20,43	16,72	19,84	14,96
Diamètre des barres[mm]	12	12	12	12	12
Nombre de barres	23	23	23	23	23
Section réelle [cm ² /p]	26,01	26,01	26,01	26,01	26,01
σ_b CARAC [Mpa]	6,62	10,81	9,10	10,52	6,73
σ_b Q-P [Mpa]	1,65	2,49	2,64	3,25	2,25
σ_s CARAC [Mpa]	215,19	287,94	242,40	280,05	218,81
WK [mm]	0,10	0,13	0,10	0,13	0,10

Nappe intérieure					
	Point 16	Point 17	Point 18	Point 19	Point 20
Section théo. (ELU) [cm ² /p]	8,10	5,88	5,88	5,88	8,10
Diamètre des barres[mm]	8	8	8	8	8
Nombre de barres	17	17	17	17	17
Section réelle [cm ² /p]	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55
σ_b CARAC [Mpa]	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00
σ_b Q-P [Mpa]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
σ_s CARAC [Mpa]	0,00	0,00	60,04	0,00	0,00
WK [mm]	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00

Avec:

σ_b CARAC :Contrainte de compression du béton à l'E.L.S caractéristique
 σ_b Q-P :Contrainte de compression du béton à l'E.L.S quasi-permanent
 WK :Ouverture de fissure
 σ_s CARAC :Contrainte de traction de l'acier à l'E.L.S caractéristique

7.6 Verification à l'effort tranchant

a) Résistance :

a) Radier:

Angles	Nu_appui 1	Point 2	Point 3	Point 4	Nu_appui 5
Vrd,max [kN/p]	2 594,39	1 872,12	1 872,12	1 872,12	2 594,39
Vrd,c1 [kN/p]	297,39	250,44	250,44	250,44	297,39
Vrd,c2 [kN/p]	642,24	463,45	463,45	463,45	642,24
Vrd=max(Vrd,c1;Vrd,c2) [kN/p]	642,24	463,45	463,45	463,45	642,24

b) Piedroit droit:

Contraintes	Nu_appui 6	Point 7	Point 8	Point 9	Nu_appui 10
Vrd,max [kN/p]	2 594,39	1 872,12	1 872,12	1 872,12	2 594,39
Vrd,c1 [kN/p]	310,58	262,98	262,98	262,98	310,58
Vrd,c2 [kN/p]	642,26	463,46	463,46	463,46	642,26
Vrd=max(Vrd,c1;Vrd,c2) [kN/p]	642,26	463,46	463,46	463,46	642,26

c) Dalle:

Contraintes	Nu_appui 11	Point12	Point 13	Point 14	Nu_appui 15
Vrd,max [kN/p]	2 594,39	1 872,12	1 872,12	1 872,12	2 594,39
Vrd,c1 [kN/p]	296,61	249,70	249,70	249,70	296,61
Vrd,c2 [kN/p]	642,24	463,44	463,44	463,44	642,24
Vrd=max(Vrd,c1;Vrd,c2) [kN/p]	642,24	463,44	463,44	463,44	642,24

d) Piedroit gauche:

Contraintes	Nu_appui 16	Point 17	Point 18	Point 19	Nu_appui 20
Vrd,max [kN/p]	2 594,39	1 872,12	1 872,12	1 872,12	2 594,39
Vrd,c1 [kN/p]	310,58	262,98	262,98	262,98	310,58
Vrd,c2 [kN/p]	642,26	463,46	463,46	463,46	642,26
Vrd=max(Vrd,c1;Vrd,c2) [kN/p]	642,26	463,46	463,46	463,46	642,26

Avec: Contrainte de compression sur la section droite de béton σ_{cp}

Valeur de calcul de l'effort tranchant résistant $V_{rd,c}$

Valeur minimale de l'effort tranchant résistant $V_{rd,c,min}$

Effort tranchant résistant de calcul $V_{rd}=\max(V_{rd,c};V_{rd,c,min})$

b) Verification de la nécessité de prévoir les armatures d'effort tranchant:

Effort tranchant non réduit pour transmission directe des charges aux appuis:

	Dalle	Piedroit	Radier
Ved (kN/p) =	394,90	128,98	388,15

Effort tranchant réduit pour transmission directe des charges aux appuis:

	Dalle	Piedroit	Radier
Ved0 (kN/p) =	349,07	85,76	331,91

Condition de la vérification : $Ved0 \leq Vrd$

	Dalle	Piedroit	Radier
	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

Pas d'aciers d'effort tranchant nécessaires.

Sans Objet

	Dalle	Piedroit	Radier
Asw/s (cm ² /m) =			
Larg.d'application à partir de nu d'appui (m) =			

Sans Objet

	Angle sup	Angle inf
As, renf (cm ² /pièce) =		

c) Vérification de la compression des bielles de béton:

Vérification de la condition : $Ved \leq Vrd,max$

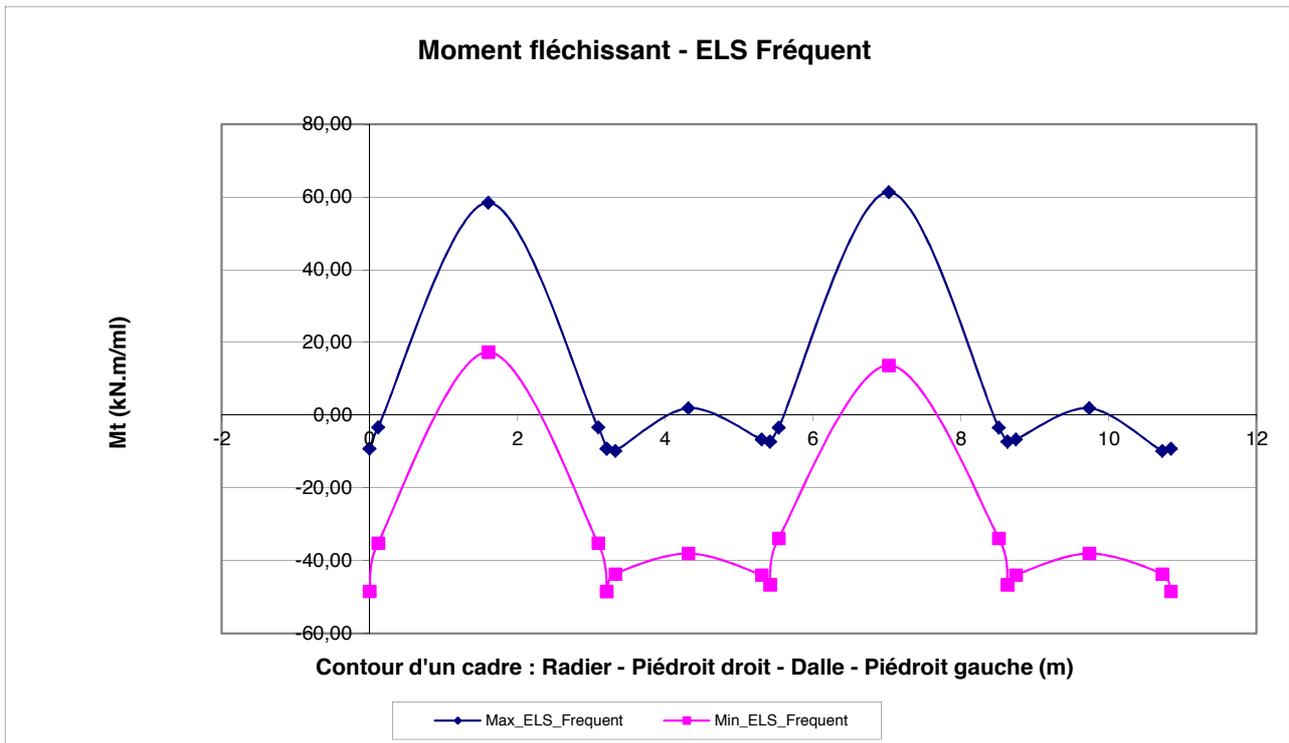
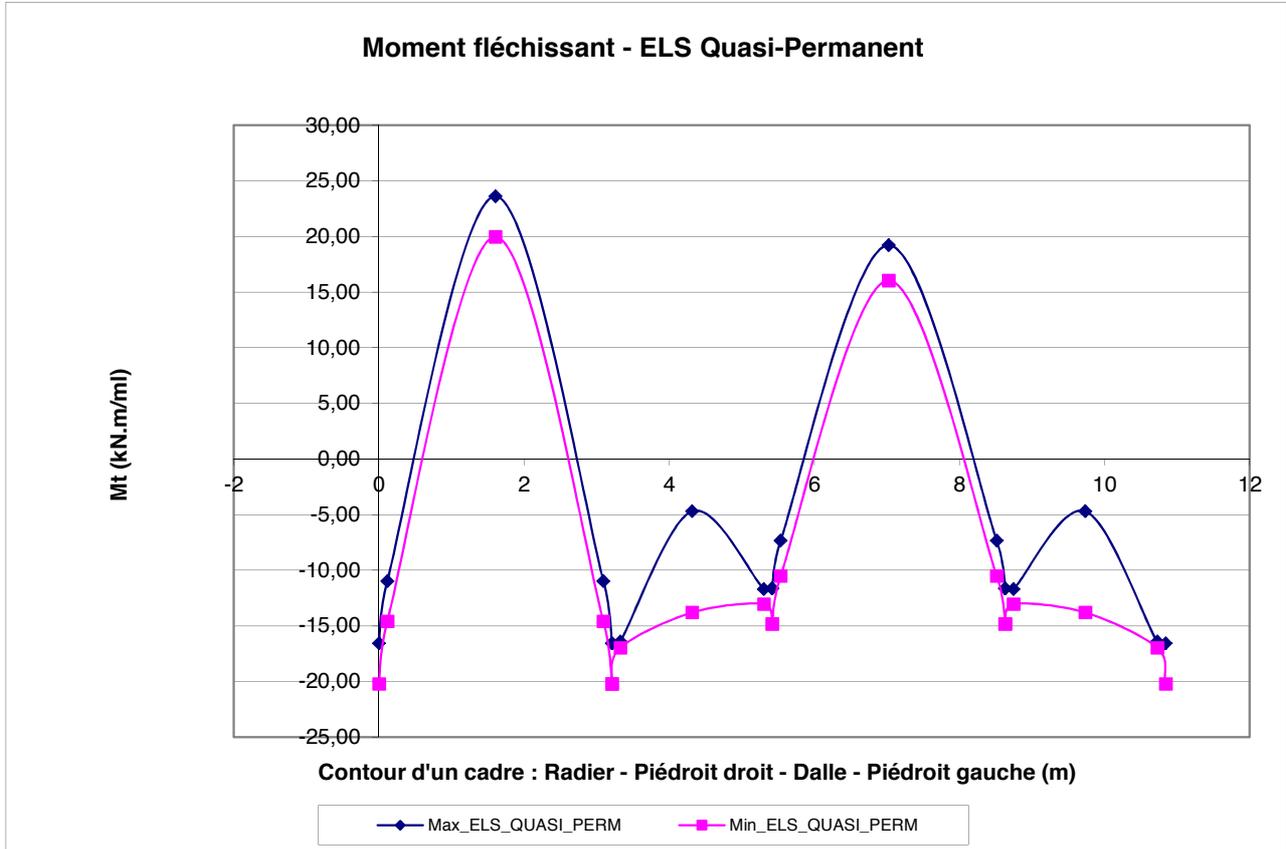
	Dalle	Piedroit	Radier
	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

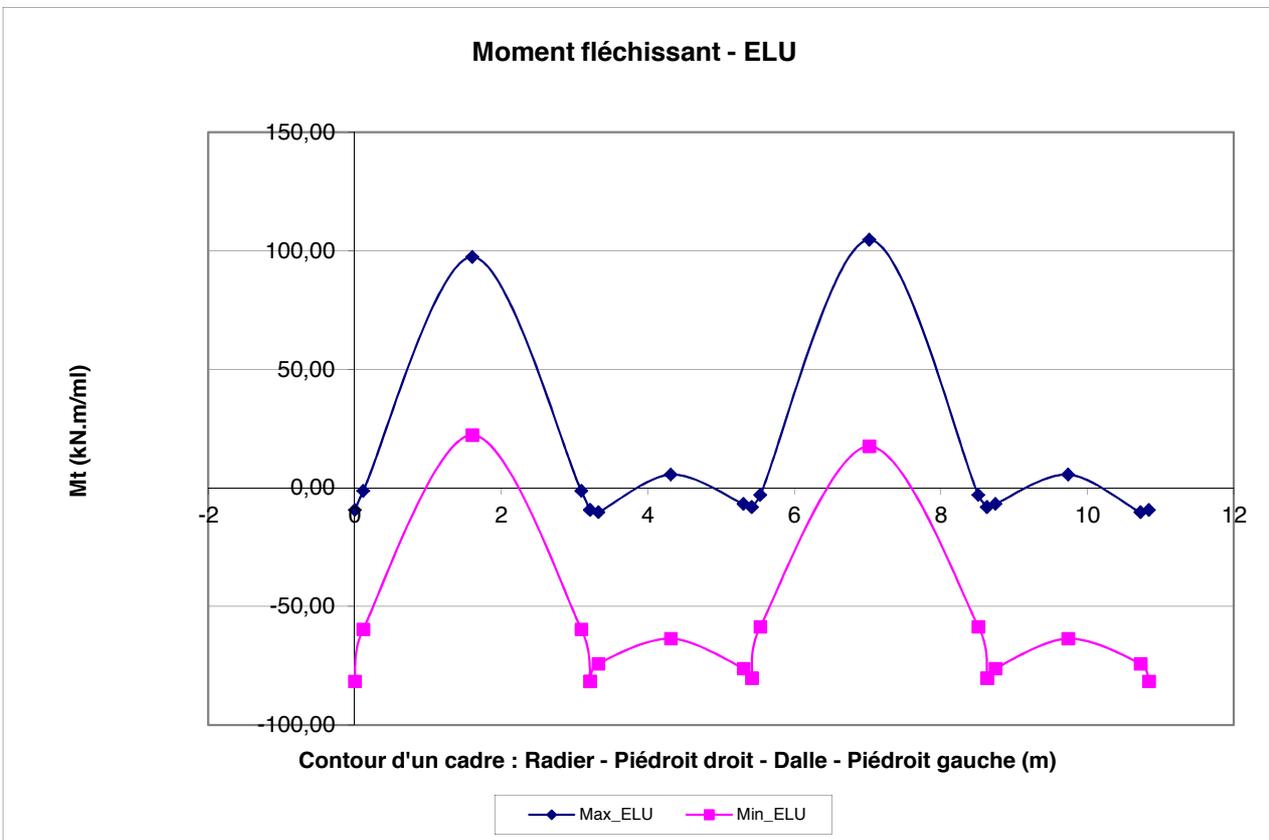
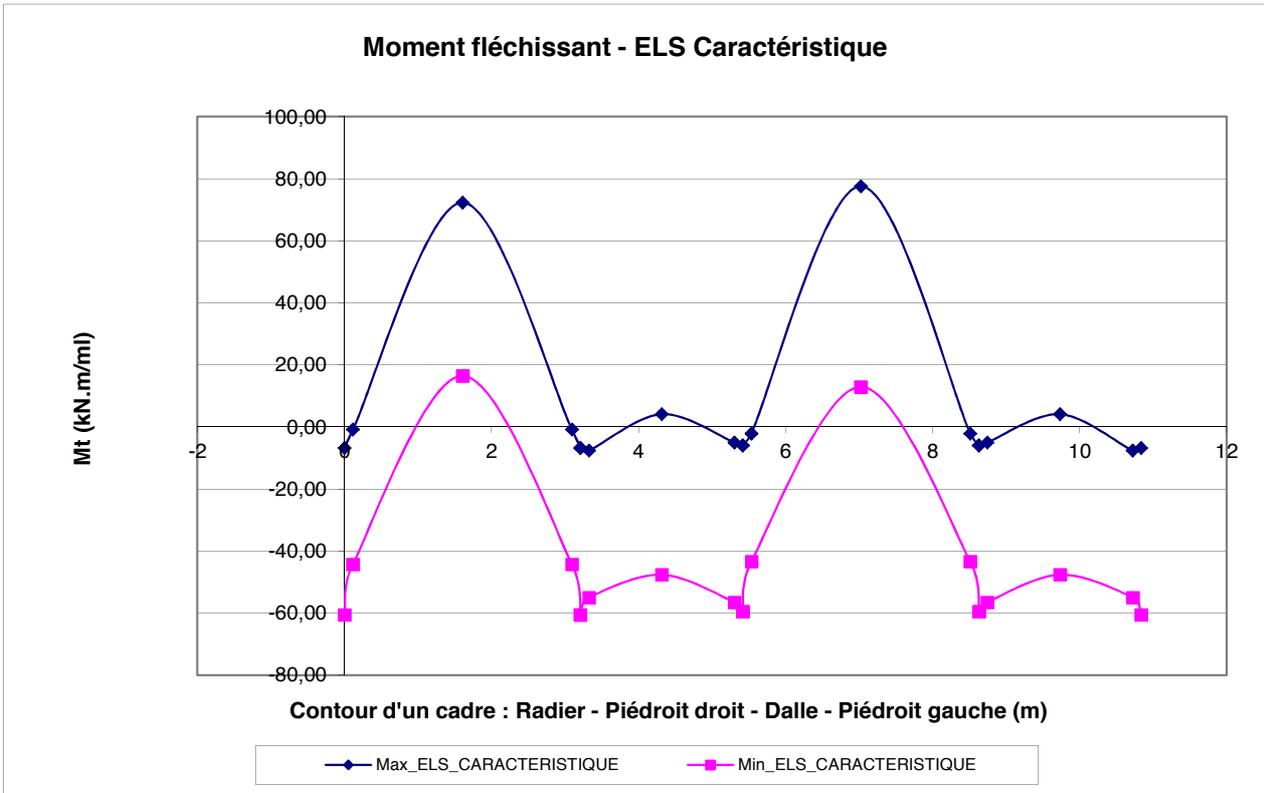
7.7 Pressions aux sol:

Les pressions aux sols sont calculées aux différents états limites :

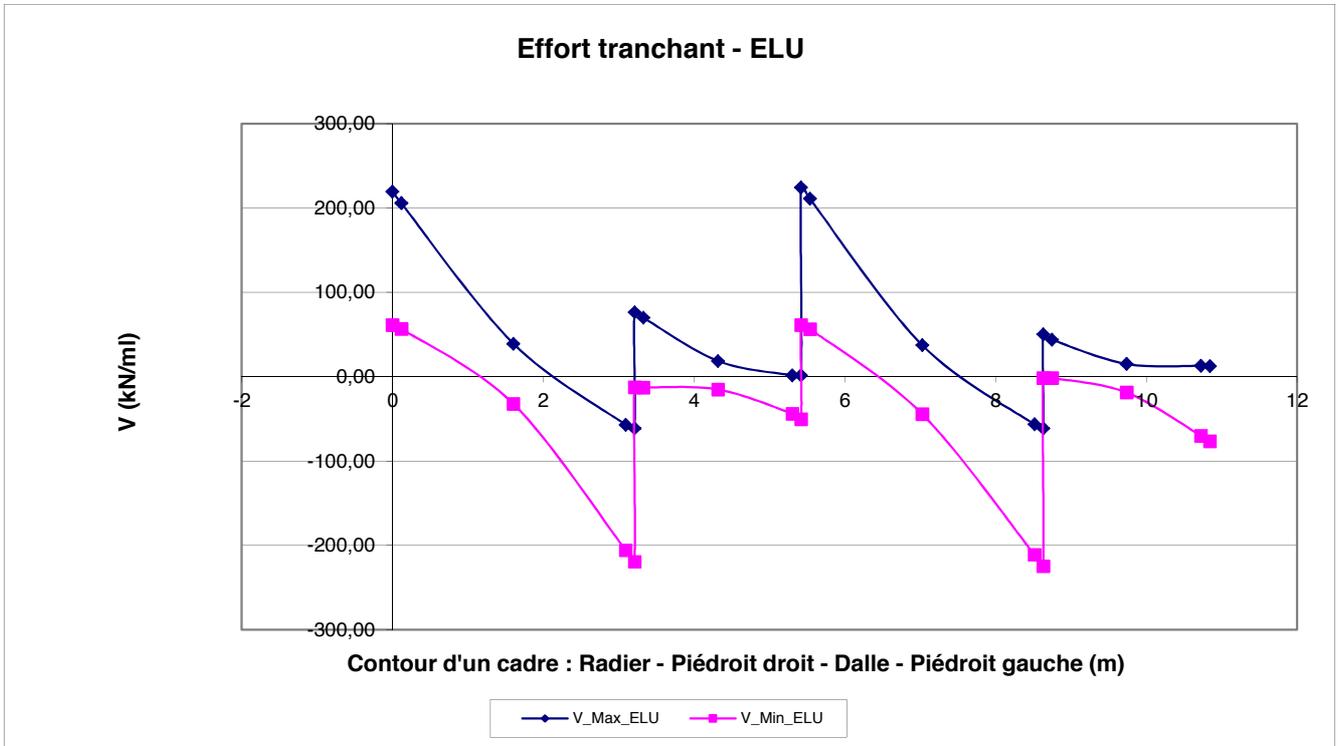
Contrainte de référence	ELU	ELS Q.P.	ELS fréq.	ELS carac.
[Kpa]	148,8	37,73	75,28	112,44

ANNEXE1 : Diagrammes des moments fléchissants :



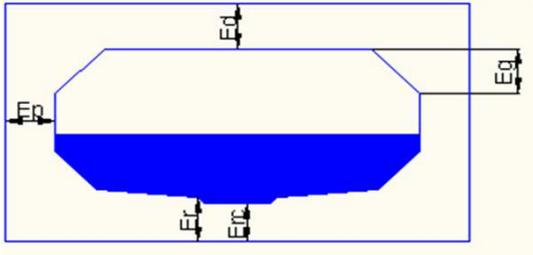


ANNEXE2 : Diagrammes des efforts tranchants :



Cadre EC - 3.2

FICHE RECAPITULATIVE



Classe d'exposition : XF1
Durée du projet : 50 ans

Béton : 35 MPa
Acier : 500 MPa

Contraintes au sol :

Contrainte maximum au sol à l'ELU (bars) : 1,488
Contrainte maximum au sol à l'ELS caractéristique (bars) : 1,124

Caractéristiques du Produit :

Largeur : 3 m
Hauteur : 2 m
Longueur : 2 m
Ep. Radier hors cunette (Er) : 0,21 m
Ep. Radier au droit de cunette (Erc) : 0,21 m
Ep. Piedroit (Ep) : 0,21 m
Ep. Dalle Sup. (Ed) : 0,21 m
Goussets : 0,2 m

Poids du produit : 11,782 t
Poids d'acier : 575 kg
Densité d'acier : 122 kg/m³

Caractéristiques de pose :

Hauteur de remblai : 0,89 m
Poids volumique : 20 kN/m³
Nappe : oui Hnappe : 2,42 m

Charges :

Chaussée : Transversal

Charges permanentes uniformément réparties :
sur le cadre 0 KN/m²
à côté du cadre 0 KN/m²

Surcharges uniformément réparties :
sur le cadre 0 KN/m²
à côté du cadre 0 KN/m²
sur et à côté du cadre 0 KN/m²

Surcharges EUROCODE: LM1 , LM2 , Classe de Trafic : 2ème classe
Surcharges de véhicules spéciaux: Sans objet
Surcharges des engins de terrassement : Sans objet

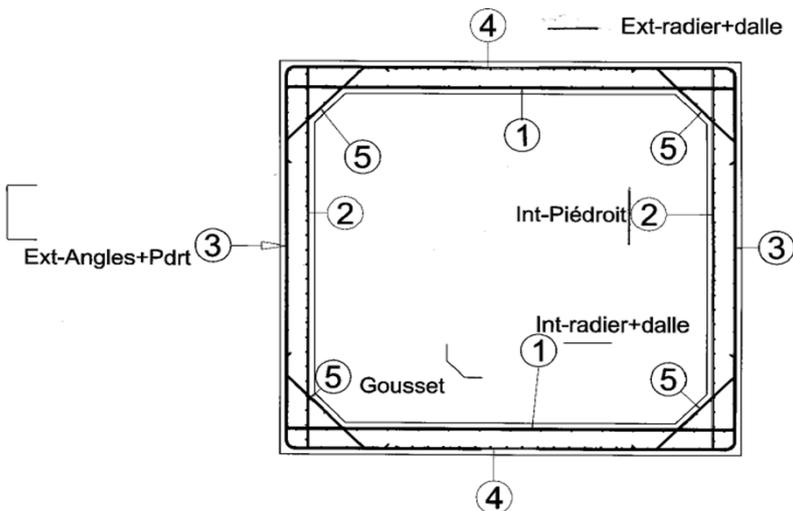
Surcharges particulières: Sans objet

Surcharges ferroviaires Sans objet

Environnement :

Conformément à la NF EN 1992-1+ AN et La NF EN 1992-2 + AN :
Valeur limite d'ouvertures des fissures, W_{max} : 0,2
Enrobage nominal, C_{nom} : 30 mm
Limitation de la contrainte dans l'acier à l'ELS Caractéristique : 300 Mpa

	Nb de Panneaux	Nb des barres	Diamètre [mm]	Longueur [mm]	As réelle [cm ²]	Schéma	Poids [kg]	Espacement [mm]
1) Int-radier+ dalle Aciers porteurs	2	18	16	3332	36,19		189,32	113
Renfort radier pour la cunette	0	0	0	0	0,00		0,00	0
1) Int-radier+ dalle Aciers de répartition	2	25	8	1920	12,57		37,88	133
2) Int-piedroit Aciers porteurs	2	17	8	2332	8,55		31,29	120
2) Int-piedroit Aciers de répartition	2	14	8	1920	7,04		21,21	171
3) Ext-Angle sup+ Angle inf + Pdr Aciers porteurs	2	23	12	4379	26,01		178,84	87
3) Ext-Angle sup+ Angle inf + Pdr Aciers de répartition	2	26	8	1920	13,07		39,40	171
4) Ext-radier+dalle Aciers porteurs	2	12	8	2386	6,03		22,59	175
4) Ext-radier+dalle Aciers de répartition	2	14	8	1920	7,04		21,21	171
5) Gousset Aciers porteurs	4	12	8	1039	6,03		19,69	175
5) Gousset Aciers de répartition	4	2	12	1920	2,26		13,64	191
6) Epingles dalle	0	0	0	0	0		0,00	0
6) Epingles piedroit	0	0	0	0	0		0,00	0
6) Epingles radier	0	0	0	0	0		0,00	0
7) Equerres angles sup	0	0	0	0	0		0,00	0
7) Equerres angles inf	0	0	0	0	0		0,00	0



Poids total du produit:	11,78 Tonnes
Volume de béton	4,71 m ³
Poids total d'aciers	575 KG
Ratio	122,02 KG/m ³
Enrobage nominal	30 mm

RAPPEL :
 épaisseur cadre : 0,21 m
 longueur cadre : 2 m

Annexe 3

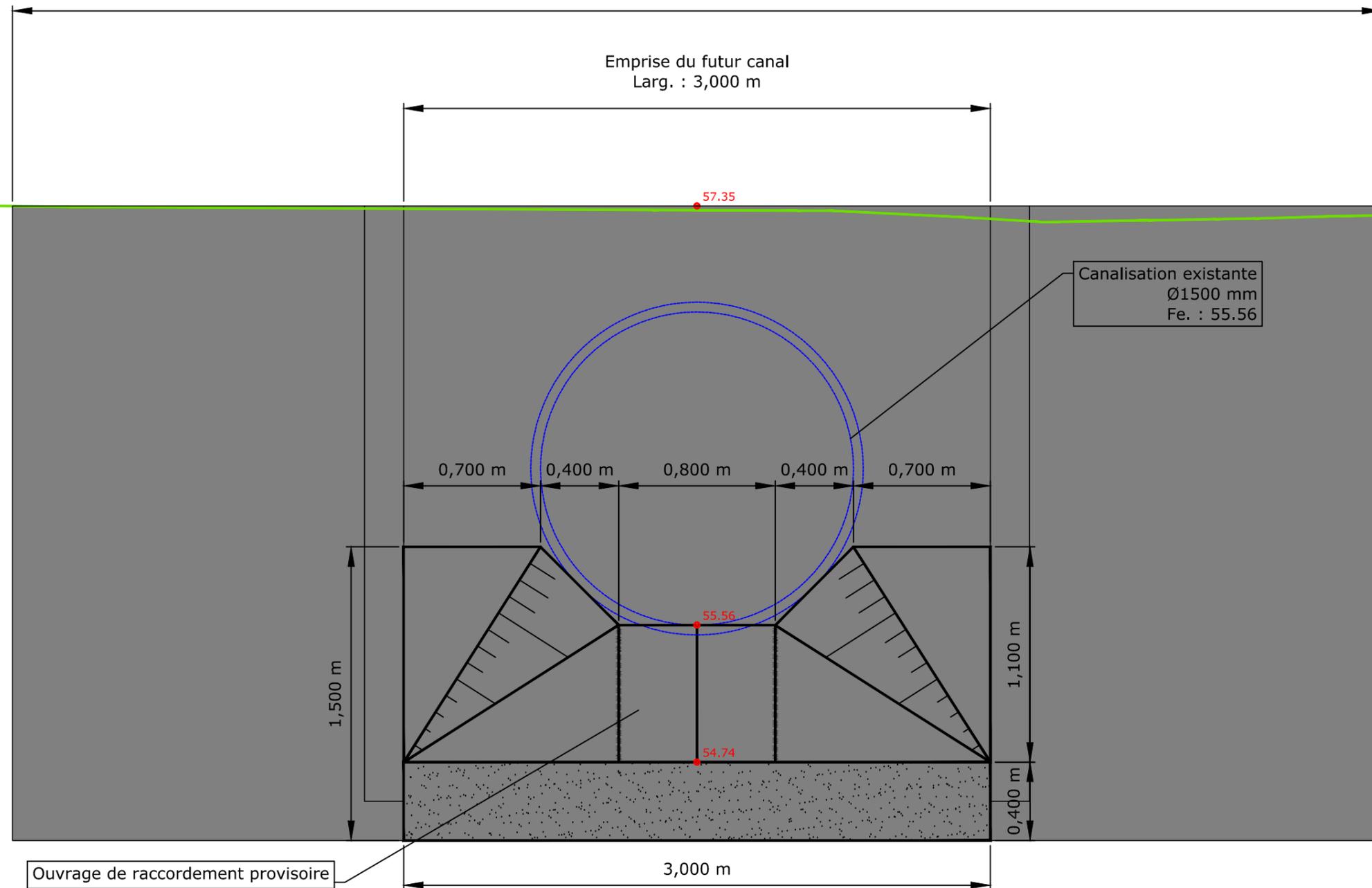
Caractéristiques des ouvrages de raccordements provisoires

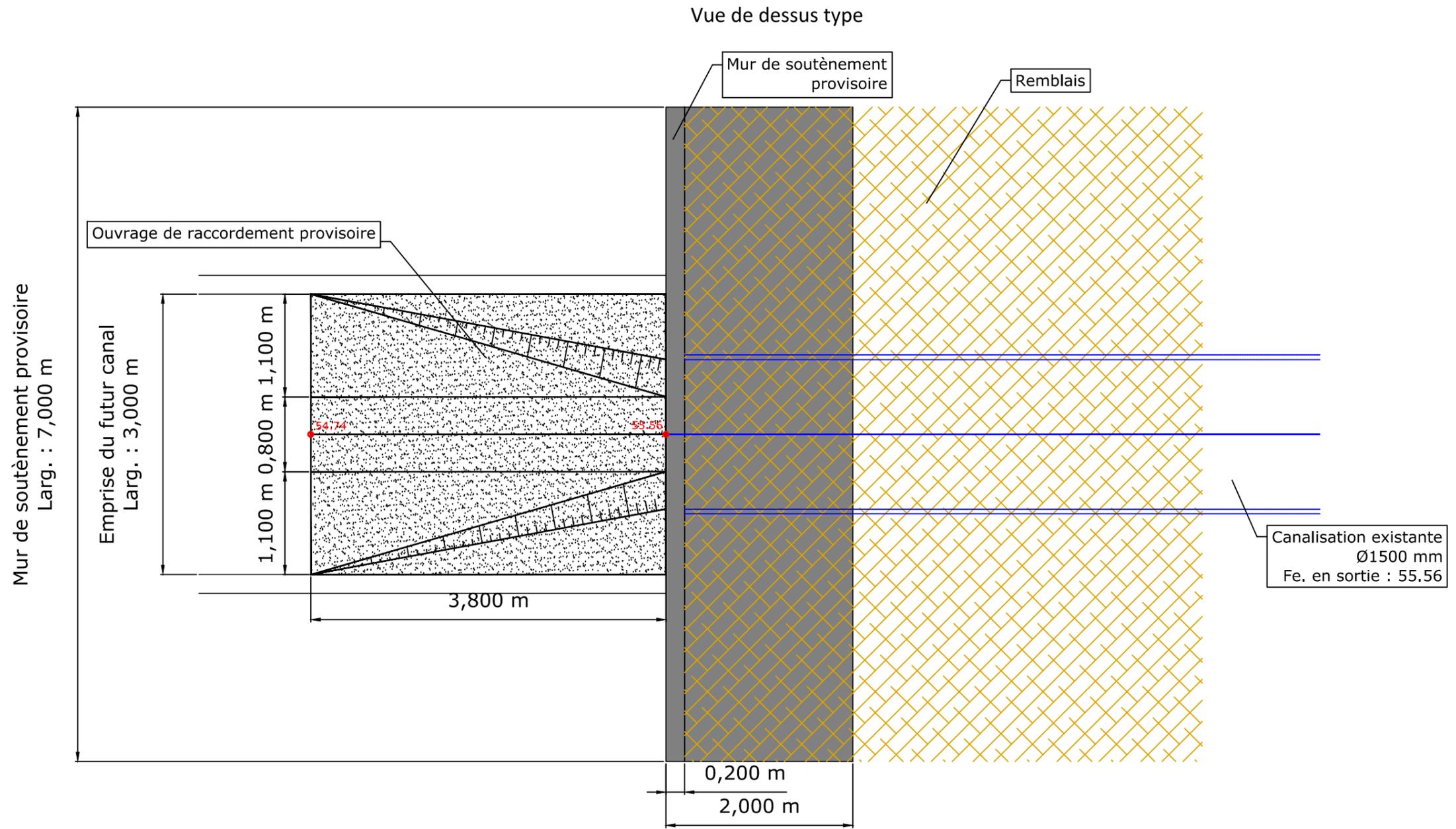
Vue de face type

Mur de soutènement provisoire
Larg. : 7,000 m

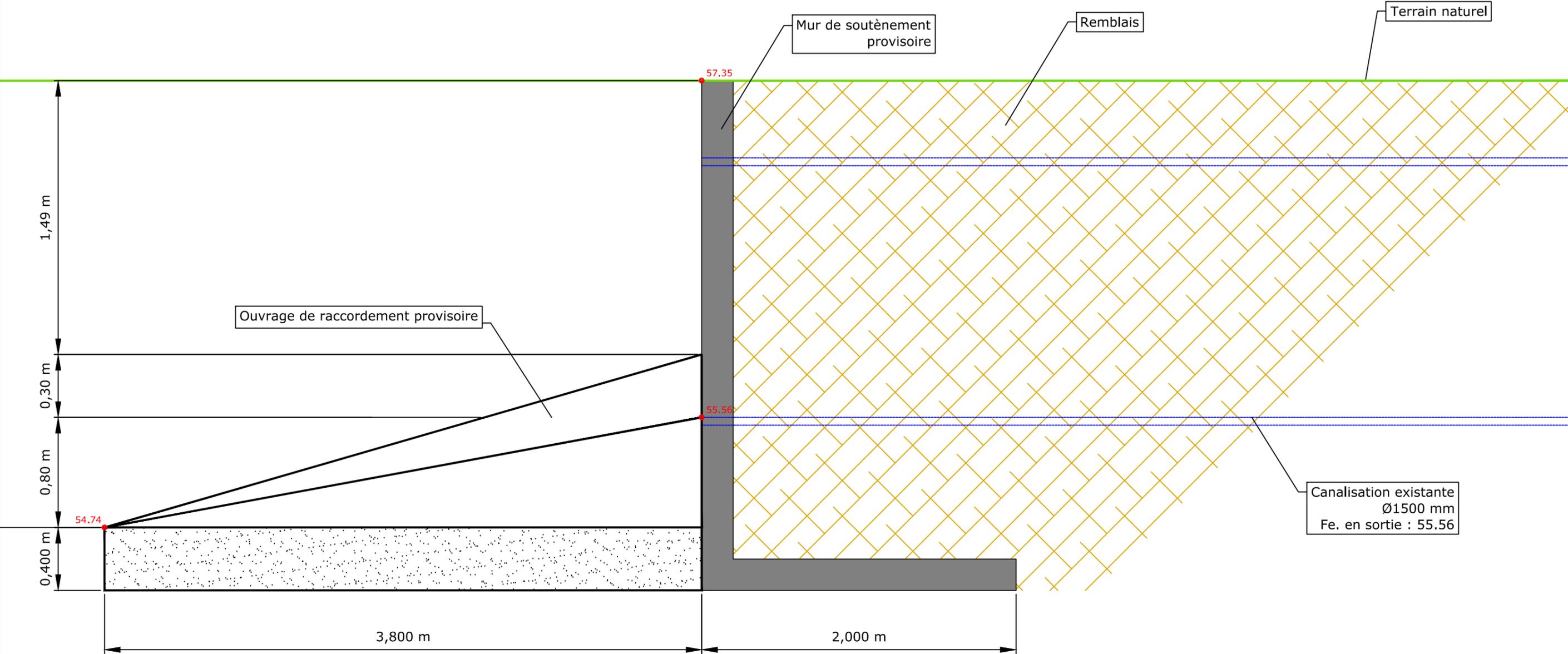
Emprise du futur canal
Larg. : 3,000 m

Terrain naturel

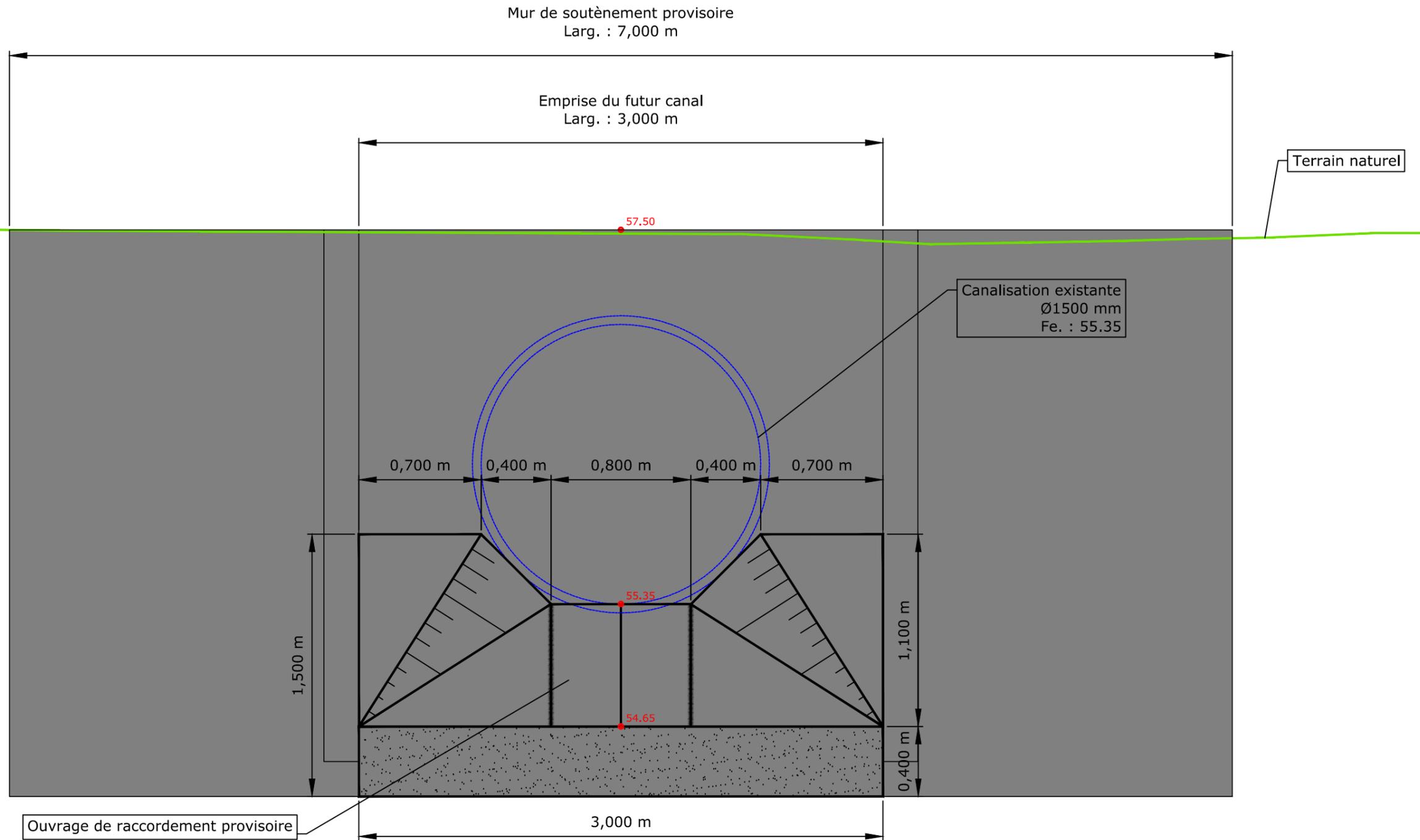


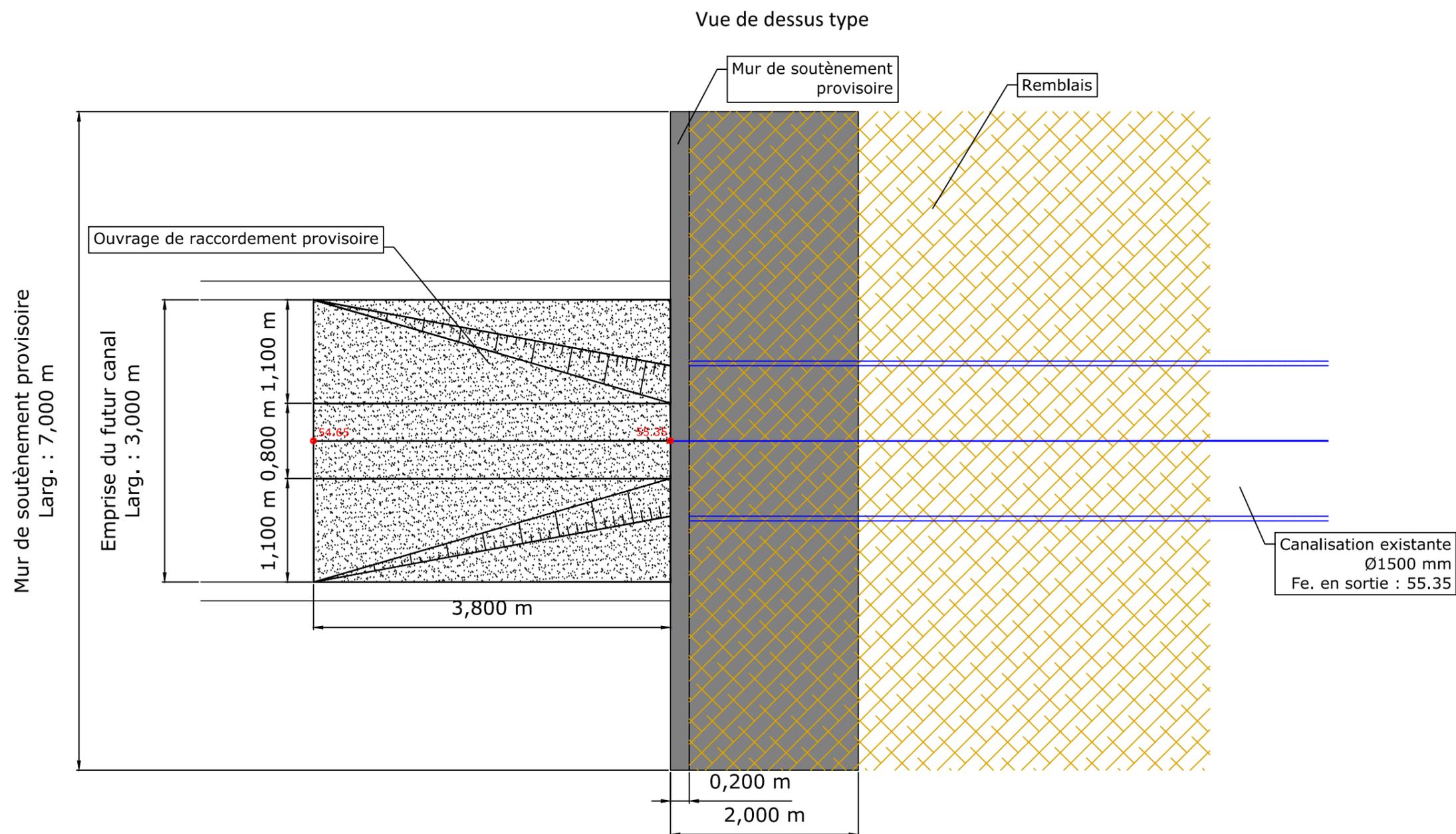


Coupe type

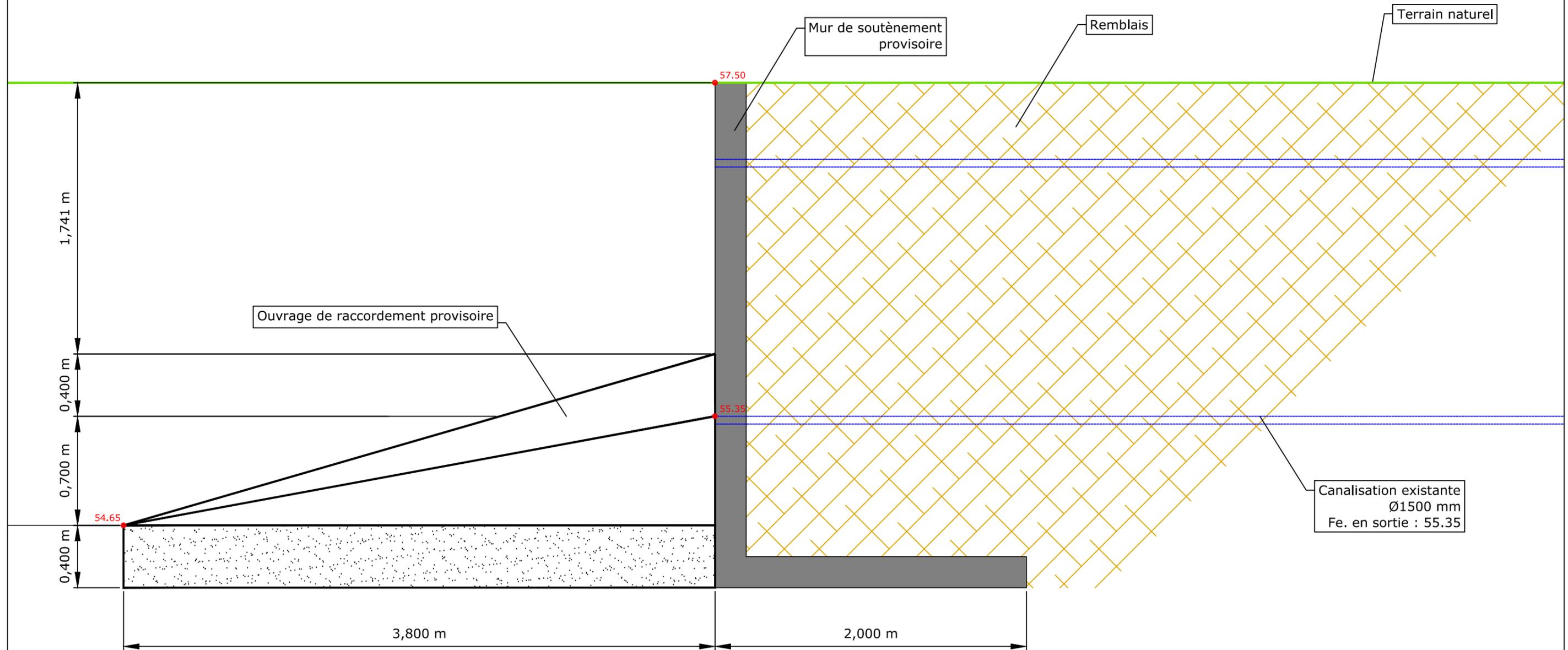


Vue de face type





Coupe type



Vue de face type

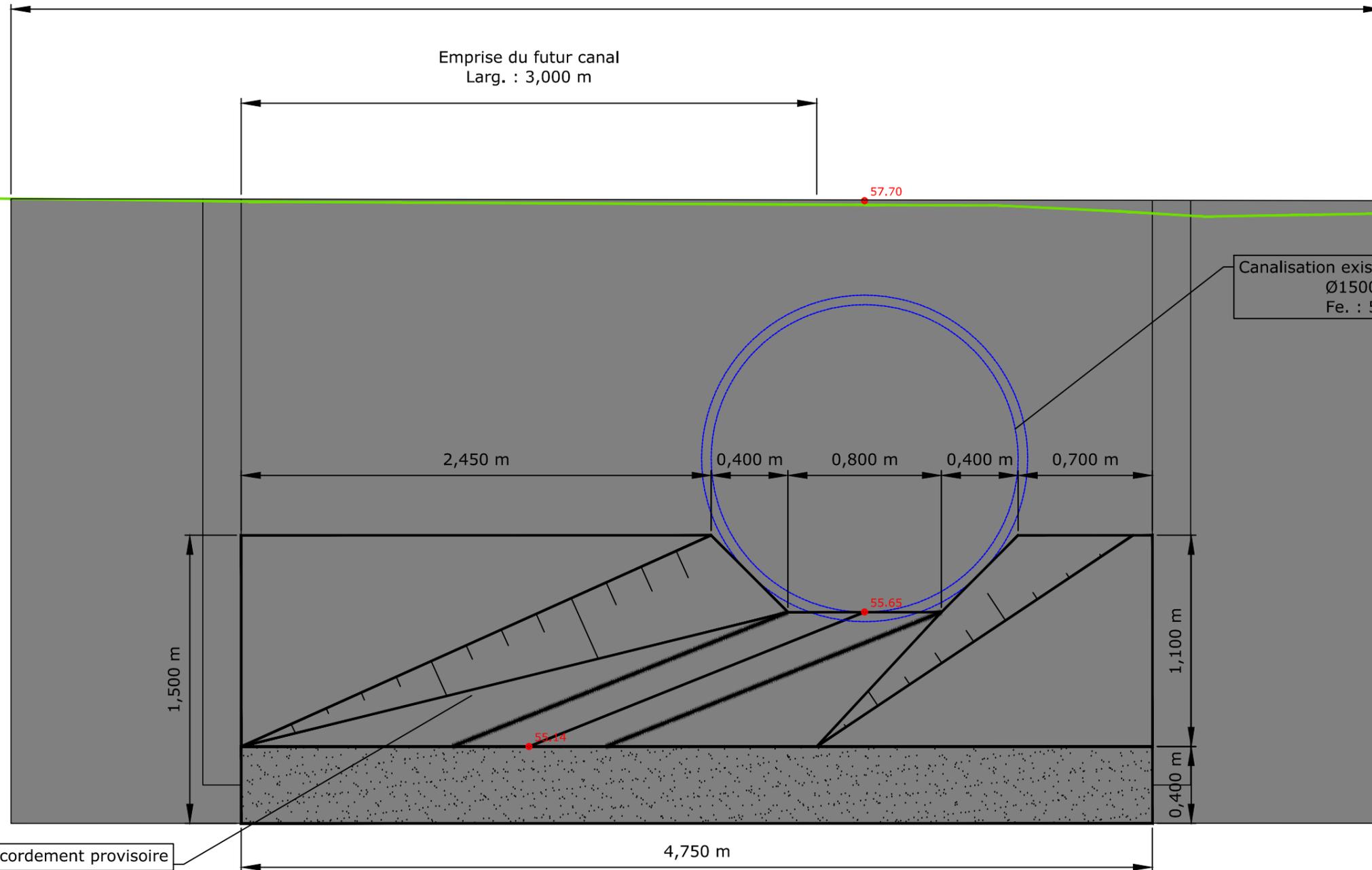
Mur de soutènement provisoire
Larg. : 7,150 m

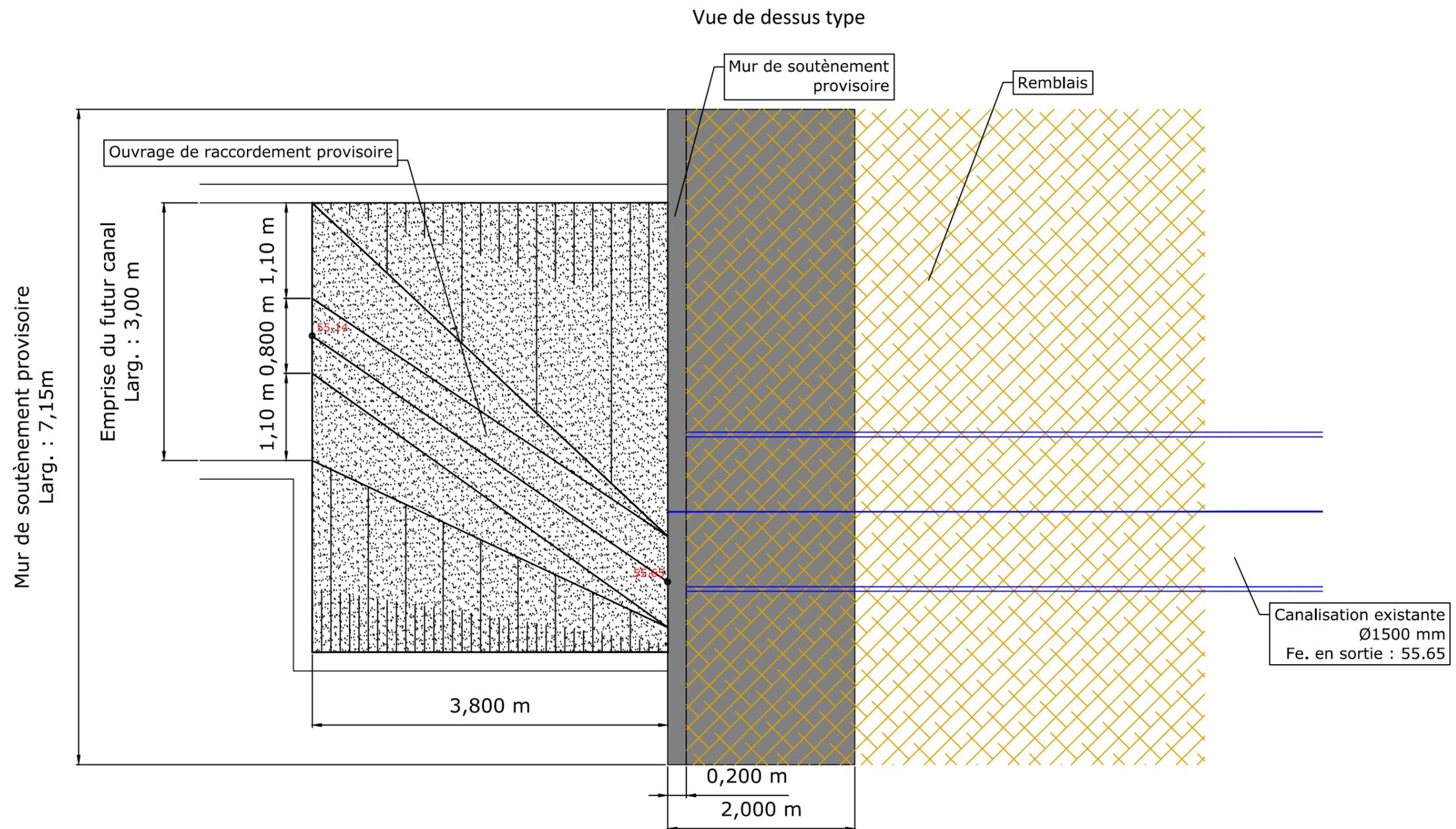
Emprise du futur canal
Larg. : 3,000 m

Terrain naturel

Canalisation existante
Ø1500 mm
Fe. : 55.65

Ouvrage de raccordement provisoire





Coupe type

