

Sommaire

1.	Contexte et nature de l'opération.....	13
1.1.	Contexte et nature de l'opération.....	13
1.2.	Objet du présent rapport	14
2.	Données utilisées dans le cadre de la présente mission	15
2.1.	Données disponibles	15
2.2.	Données de modélisations hydrauliques	16
2.3.	Données géotechniques disponibles.....	21
3.	Contexte des sites étudiés.....	23
3.1.	Contexte environnemental et incidences environnementales et paysagère du projet.....	23
3.1.1.	Enjeux environnementaux et réglementaires.....	23
3.2.	Contexte géologique et géotechnique	29
3.2.1.	Analyses des données disponibles	29
3.3.	Contexte topographique	65
3.3.1.	Analyse des données disponibles.....	65
4.	Description et historique des ouvrages.....	67
4.1.	Digue à Saint-Denis-en-Val	67
4.2.	Digue fusible de Jargeau.....	68
4.3.	Sigloy	71
4.4.	Guilly.....	72
4.5.	Historique des désordres, travaux et études sur le val d'Orléans	74
4.5.1.	Historique des désordres majeurs subis	74
4.5.2.	Travaux d'aménagement réalisés	76
4.5.3.	Etudes récentes.....	77
4.5.4.	Opérations récentes.....	78
5.	Programme de travaux.....	80
5.1.	Détermination des cotes de crêtes des aménagements.....	80
5.2.	Description sommaire des solutions de confortement par typologie et contraintes associées. 81	
5.2.1.	Opération 2 du PGF : Fiabilisation et uniformisation de la banquette coté Loire sur le secteur de Saint-Denis-en-Val	86

5.2.2.	Opération 3 du PGF : Abaissement du fusible du déversoir de Jargeau	91
5.2.3.	Opération 6 du PGF : Fiabilisation et uniformisation de la banquette coté Loire sur le secteur de Sigloy et Guilly, et fiabilisation à la surverse sur le secteur de Guilly	96
5.2.4.	Choix de conception.....	99
5.2.5.	Foncier	101
6.	Démarches réglementaires et études complémentaires	104
6.1.	Démarches réglementaires à mettre en place	104
6.2.	Géotechnique	105
6.2.1.	Saint Denis en val	105
6.2.2.	Jargeau	106
6.2.3.	Sigloy	106
6.2.4.	Guilly	107
6.3.	Besoins en topographie.....	108
7.	Coût prévisionnel des travaux	109
8.	Planning	111
9.	Analyses coûts/bénéfices (ACB) et multicritère (AMC) pour le scénario de fiabilisation	113
9.1.	Objectifs	113
9.2.	Principes généraux	113
9.3.	Méthode de calculs des indicateurs.....	115
9.3.1.	Démarche.....	115
9.3.2.	Base de données pour calculer les indicateurs	118
9.3.3.	Crues à prendre en compte	118
9.3.4.	Simulations réalisées.....	120
9.4.	Evaluation des coûts des mesures	127
9.5.	Résultats	128
9.5.1.	Indicateurs élémentaires	128
9.5.2.	Indicateurs synthétiques.....	130

Table des figures

Figure 1 : Emprise du modèle 2D du Céréma et localisation des déversoirs et val (CEREMA 2018)	16
Figure 2 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Guilly (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	17
Figure 3 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Sigloy (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	18
Figure 4 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Jargeau (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	19
Figure 5 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Saint Denis en Val (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	20
Figure 6 : Zone de protection spéciale Natura 2000 "Vallée de la Loire du Loiret" (Antea Group).....	23
Figure 7 : Site d'importance communautaire Natura 2000 'Vallée de la Loire de Tavers à Belleville-sur-Loire" (Antea Group)	24
Figure 8 : Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. (Antea Group)	25
Figure 9 : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (Antea Group).....	26
Figure 10 : Réserve Naturelle Nationale (Antea Group)	26
Figure 11 : Sites classés ou inscrits du Loiret (Antea Group)	27
Figure 12 : Sites patrimoniaux remarquables du Loiret (Antea Group)	27
Figure 13 : Périmètres de protection des monuments historiques du Loiret (Antea Group).....	28
Figure 14 : Localisation des secteurs d'étude à Château Lumina et linéaire de la zone d'étude	29
Figure 15 : Localisation de la zone sans investigation.....	31
Figure 16 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à St Denis en Val (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A)	32
Figure 17 : Carte géologique du secteur de Saint Denis en val au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr)	33
Figure 18 : Localisation des sondages réalisés par Fugro à Jargeau	38
Figure 19 : Plan d'implantation des investigations réalisés par le CEREMA à Jargeau	39
Figure 20 : Coupe type d'investigations réalisés par le CEREMA à Jargeau	39
Figure 21 : Carte géologique du secteur de Jargeau au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr).....	40
Figure 22 : Masse érodée cumulée (a) et taux moyen d'érosion (b) en fonction du temps – Profil 3 (CEREMA).....	42

Figure 23 : Masse érodée cumulée (a) et taux moyen d'érosion (b) en fonction du temps – Profil 7 (CEREMA).....	42
Figure 24 : Evolution du taux d'érosion en fonction de la profondeur – Profil 7 (CEREMA)	43
Figure 25 : Localisation des secteurs d'étude à Sigloy et linéaire de la zone d'étude	44
Figure 26 : zone d'étude avec des données géotechniques manquantes entre Sigloy et le lieu-dit « le grand Chemin » (source rapport Fugro : SIGLOY (45) 2016).....	46
Figure 27 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à Sigloy (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A).....	47
Figure 28 : Carte géologique du secteur de Sigloy au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr).....	48
Figure 29 : Localisation des secteurs d'étude à Guilly et linéaire de la zone d'étude	55
Figure 30 : Localisation du secteur sur lequel les investigations géotechniques sont manquantes	57
Figure 31 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à Guilly (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A).....	58
Figure 32 : Carte géologique du secteur de Guilly au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr)	59
Figure 33 : Exemple d'anomalie (proximité d'une surface en eau) dans le MNT de 2002	66
Figure 34 : Vue du secteur Saint-Denis-en-Val du 22/01/2022– Source : Antea Group.....	67
Figure 35 : Profil en travers du déversoir de Jargeau (source : EDD de la levée d'Orléans)	68
Figure 36 : Perré en partie haute de la rehausse (FUGRO Géotechnique, 05/02/2015)	69
Figure 37 : Vue du déversoir, présence de réseau en crête et marche et garde-corps métallique – photo du 22/01/2022 (Source : Antea Group).....	70
Figure 38 : Barrières et panneaux identifiés sur la levée au niveau de la commune de Sigloy – photo du 22/01/2022 (Source : Antea Group).....	71
Figure 39 : Vue du système d'endiguement au niveau du secteur Guilly - photo du 20/01/2022 – source : Antea Group	72
Figure 40 : Illustration de canalisations transversant la banquettes côté Val sur le secteur Guilly-photo du 22/01/2021 (Source : Antea Group).....	72
Figure 41 : Brèches lors des crues du XIXe siècle (source : EDD de la levée d'Orléans)	74
Figure 42 : Brèches caractéristiques de la levée d'Orléans (source : EDD de la levée d'Orléans)	75
Figure 43 : Déroulement de la crue de 1846 (source : annexe 18 EDD de la levée d'Orléans)	75
Figure 44 : Profil type des renforcements de la levée d'Orléans des années 70 (côté val) (source : PGF du val d'Orléans 2016).....	76
Figure 45 : Profil type des renforcements de la levée d'Orléans des années 70 (côté Loire) (source : PGF du val d'Orléans 2016)	76

Figure 46 : Travaux d'arasement des banquettes côté val par la DDT (Antea Group).....	78
Figure 47 : Opération n°1 comprise entre les PK 0 et 10.32 (source : PGF de la levée d'Orléans fiches mise à jour en 2017 par la DREAL)	79
Figure 48 : Opération n°2 comprise entre les PK 26.7 et 40.48 (source : PGF de la levée d'Orléans fiches mise à jour en 2017 par la DREAL)	79
Figure 49 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Saint Denis en Val (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	82
Figure 50 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Jargeau (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA).....	83
Figure 51 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Sigloy (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA).....	84
Figure 52 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Guilly (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)	85
Figure 53 : Localisation des travaux – Opération 2 – Saint-Denis-en-Val	86
Figure 54 : Coupe de principe des travaux – Opération 2 – Saint-Denis-en-Val	87
Figure 55 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP de la banquette à l'état actuel, en régime permanent (crue en crête de banquette)	89
Figure 56 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP de la banquette fiabilisée, en régime permanent (crue en crête de banquette).....	89
Figure 57 : Localisation des travaux – Opération 3 – Jargeau.....	91
Figure 58 : Coupe de principe des travaux – Opération 3 – Jargeau.....	92
Figure 59 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP du fusible du déversoir de Jargeau avec perré maçonné côté Loire, en régime transitoire	93
Figure 60 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP du fusible du déversoir de Jargeau sans perré maçonné côté Loire, en régime transitoire.....	94
Figure 61 : Localisation des travaux – Opération 6 – Guilly et Sigloy.....	96
Figure 62 : Travaux de suppression de banquette à Guilly dans le cadre des travaux de fiabilisation du système d'endiguement du val d'Orléans (Source : DDT45 en 2019).....	97
Figure 63 : Coupe de principe des travaux – Opération 6 – Guilly – Fiabilisation surverse	98
Figure 64 : Exemple de longrine avec fer en attente (source : Antea Group)	99
Figure 65 : Illustration du matelas Reno (Source : Maccaferri France).....	99
Figure 66 : Localisation du secteur où les travaux seront adaptés en phase PRO – Opération 6 – Guilly et Sigloy	101

Figure 67 : Localisation de la zone de travaux sur fond de plan cadastrale – Opération 6 – Secteur Guilly – Fiabilisation à la surverse	103
Figure 68 : Planning général - stade AVP	112
Figure 69 : Planning général optimisé - stade AVP	112
Figure 70 : Représentation du DMA – Source : Guide méthodologique de l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations de mars 2018	116
Figure 71 : Représentation du DEMA – Source : Guide méthodologique de l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations de mars 2018	117
Figure 72 : Représentation du DEMA – Source : Guide méthodologique de l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations de mars 2018	119
Figure 73. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T70 (Antea Group)	121
Figure 74. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T70 (Antea Group)	121
Figure 75. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T170 (Antea Group)	122
Figure 76. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T170 (Antea Group)	122
Figure 77. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T200 (Antea Group)	123
Figure 78. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T200 (Antea Group)	123
Figure 79. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T250 (Antea Group)	124
Figure 80. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T250 (Antea Group)	124
Figure 81. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T500 (Antea Group)	125
Figure 82. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T500 (Antea Group)	125
Figure 83. Hauteurs d'eau maximales pour l'état actuel T1000 (Antea Group)	126
Figure 84. Hauteurs d'eau maximales pour l'état aménagé T1000 (Antea Group)	126
Figure 85. Calcul du DEMA pour le Scénario d'aménagement envisagé	130

Table des tableaux

Tableau 1 : Principaux documents utilisés dans le cadre de la présente étude	15
Tableau 2 : Synthèse des données géotechniques disponibles sur Saint-Denis-en-Val	30
Tableau 3 : Synthèse des essais d'indentification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val	34
Tableau 4 : Synthèse des essais mécanique en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val	34

Tableau 5 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val	34
Tableau 6 : Synthèse des essais d'indentification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val	35
Tableau 7 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val	36
Tableau 8 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val	36
Tableau 9 : Synthèse des niveaux d'eau relevés en forage – Secteur Saint-Denis-en-Val	37
Tableau 10 : Modèle géotechnique – Secteur Saint-Denis-en-Val	37
Tableau 11 : Synthèse des essais d'indentification en laboratoire réalisé par le CEREMA dans le fusible – Secteur Jargeau	41
Tableau 12 : Caractéristiques pénétrométriques retenues par le CEREMA pour les matériaux constitutifs du fusible – Secteur Jargeau	41
Tableau 13 : Synthèse des données géotechniques à disposition – Secteur Sigloy	45
Tableau 14 : Synthèse des essais d'indentification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Sigloy	49
Tableau 15 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Sigloy	50
Tableau 16 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Sigloy	50
Tableau 17 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy	51
Tableau 18 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy	52
Tableau 19 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy	52
Tableau 20 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Sigloy	53
Tableau 21 : Synthèse des essais mécanique en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Sigloy	53
Tableau 22 : Synthèse des niveaux d'eau relevés en forage – Secteur Sigloy	53
Tableau 23 : Modèle géotechnique – Secteur Sigloy	54
Tableau 24 : Synthèse des données géotechniques disponibles – Secteur Guilly	56
Tableau 25 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Guilly	60
Tableau 26 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Guilly	61

Tableau 27 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Guilly.....	62
Tableau 28 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Guilly	63
Tableau 29 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Guilly	64
Tableau 30 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Guilly .	64
Tableau 31 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Guilly	64
Tableau 32 : Synthèse des niveaux d'eau mesurés en forage – Secteur Guilly	65
Tableau 33 : Modèle géotechnique – Secteur Guilly	65
Tableau 34. Synthèse DT – Opération 2 – Secteur Saint-Denis-en-Val	67
Tableau 35. Synthèse DT – Opération 3 – Secteur Jargeau.....	70
Tableau 36. Synthèse DT – Opération 6 – Secteur Sigloy.....	71
Tableau 37. Synthèse DT – Opération 6 – Secteur Guilly	73
Tableau 38: Hauteurs d'eau à l'échelle d'Orléans associées à une crue T200 (source : rapport CEREMA Janvier 2018)	80
Tableau 39. Estimation - Opération 2	109
Tableau 40. Estimation - Opération 3	109
Tableau 41. Estimation - Opération 6	110
Tableau 42. Délais de travaux	111
Tableau 43. Les indicateurs élémentaires de l'AMC [Réf.1].....	114
Tableau 44. Les indicateurs synthétiques de l'AMC [Réf.1]	115
Tableau 45 : Les indicateurs secondaires de l'AMC [Réf.1].....	115
Tableau 46. Données d'entrée SIG utilisées pour caractériser les indicateurs.....	118
Tableau 47. Simulations réalisées	120
Tableau 48 : Grille des ratios de coûts environnementaux préconisés en fonction du type de mesures mises en place – Source : CGDD – Extrait du guide méthodologique de l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations de mars 2018	127
Tableau 49 : Coûts des mesures.....	128
Tableau 50. Calculs des indicateurs élémentaires	128
Tableau 51. Calculs des indicateurs élémentaires M1, M2, M3 et M4.....	129
Tableau 52. Résultats des indicateurs.....	130

Table des annexes

Annexe I :	Vues en plans des travaux
Annexe II :	Coupes types
Annexe III :	Atlas cartographique AMC/ACB

1. Contexte et nature de l'opération

1.1. Contexte et nature de l'opération

La levée du Val d'Orléans est localisée sur la rive gauche de la Loire dans le département du Loiret. Le système d'endiguement présent représente un enjeu considérable avec près de 65 000 habitants et 15 500 salariés présents dans ce val. L'étude de dangers (EDD) de la levée du Val d'Orléans (DREAL Centre-Val de Loire, 2012), a montré que le niveau de sureté des digues est bien inférieur au niveau de protection apparent.

Le projet global de fiabilisation (PGF) de la levée du Val d'Orléans (DREAL CVL -2015) définit et hiérarchise les premières opérations à entreprendre afin de réaliser un programme de restauration et d'optimisation du système d'endiguement. Cela comprend notamment :

- Le renforcement de la levée afin qu'elle ne rompe pas avant d'être dépassée par l'eau (surverse). L'étude de dangers de la levée d'Orléans a montré que le risque de rupture ne pouvait plus être considéré comme négligeable pour une crue de période de retour de 70 ans. La priorité est donc de traiter les mécanismes pouvant conduire à la brèche avant une période de retour de 100 ans, puis ceux susceptibles de conduire à la brèche pour une période de retour supérieure à 100 ans.
- L'optimisation de l'écoulement dans le val lorsque la levée est dépassée par l'eau. L'étude ÉCRIVALS a permis d'identifier les zones de digues à aménager afin de limiter les atteintes aux enjeux protégés en cas de dépassement de la crête des digues.

Pour y remédier, la DREAL Centre Val de Loire a confié une maîtrise d'œuvre sur la gestion de la surverse du val d'Orléans dans le département du Loiret à Antea Group afin de réaliser une partie des opérations qui sont liées à la gestion de la surverse dans le cadre du projet global de fiabilisation. Le budget prévisionnel alloué aux travaux est de trois millions d'euros TTC.

La présente étude s'inscrit dans le lot 1 de l'accord cadre multi-attributaires de maîtrise d'œuvre agréée réalisé par la DREAL Centre pour réaliser des travaux de fiabilisation des digues de la Loire et de ses affluents.

Les travaux envisagés s'organisent en deux opérations distinctes :

- **Opération liée à la gestion de la surverse :**
 - Choix judicieux des zones de premières surverses de manière à contrôler l'inondation dans le val afin qu'elle soit progressive et touche le moins d'enjeux possible (analyse des écoulements préférentiels dans le val et analyse ACB/AMC) ;
 - Traitement des points bas du système d'endiguement (non retenus comme zones de surverse) : fiabilisation de certaines banquettes côté Loire, suppression des banquettes côtés val, rehausse de la crête de digue,... ;
 - Pour les zones de premières surverses retenues, traitement des tronçons pour qu'ils puissent résister au passage de la lame d'eau de la crête jusqu'au pied du talus aval (face zone protégée)
- **Opération liée au déversoir de Jargeau :**

- Réglage du fusible pour rendre le déversoir à nouveau fonctionnel (zone de première surverse du système d'endiguement). A ce jour, d'après les simulations réalisées dans le cadre de l'EDD, le déversoir n'est fonctionnel qu'à partir de la crue T 500 ans (ce point sera vérifié dans le cadre de cette étude) ;
- Maîtrise des entrées d'eau dans le val en cas de crue dépassant le niveau de 1ère surverse pour retarder l'apparition de brèche ;
- Analyse des écoulements préférentiels dans le val en lien avec les enjeux présents s'appuyant sur une analyse ACB/AMC (remodelage du terrain, concentration de l'écoulement dans les paléo-chenaux...)

La nature des travaux envisagés est la suivante et peut être regroupée en différentes typologies :

- **Modification / création des déversoirs / fusibles** permettant de contrôler le niveau de surverse en différents points (Jargeau, Guilly, Sigloy et Saint Denis en Val).
- **Modification du talus aval** : pente et modification de la surface pour lutter contre le phénomène d'érosion externe
- **Traitement des points bas** : remise à la cote permettant de respecter le niveau de sûreté T200.
- **Traitement d'ouvrages traversants** dans le cadre de la modification du talus aval.
- **Aménagement du pied de levée aval** afin de prévenir les risques d'érosions (prise en compte du ressaut hydraulique notamment).

Le coût total objectif des travaux est de 3 millions d'euros TTC (soit environ 2,5 millions d'euros hors taxes). Ces travaux visent à porter le niveau de sûreté des digues au niveau de protection apparent T200 ans, soit une cote 96,75 mNGF à l'échelle d'Orléans (niveau de 1^{ère} surverse sur le déversoir de Jargeau). Notons que plusieurs opérations de renforcement par écrans étanches (+ traitement des canalisations traversantes) ont d'ores et déjà été réalisées entre 2017 et 2019, notamment sur Sigloy, Guilly, Saint-Pryvé-Saint-Mesmin et Saint Denis en Val.

1.2. Objet du présent rapport

Le présent document constitue le rapport **d'AVP et d'AMC/ACB** établi par Antea Group.

Il fait suite au rapport de diagnostic « Rapport n°A 107570/C – 04 février 2021 » établi par Antea Group.

2. Données utilisées dans le cadre de la présente mission

2.1. Données disponibles

Dans le cadre de la présente mission, nous nous sommes appuyés sur un certain nombre de documents transmis par la DREAL Centre-Val de Loire et différents membres du COTECH. Le tableau ci-dessous rappelle les principales données utilisées dans le cadre de la présente étude :

Tableau 1 : Principaux documents utilisés dans le cadre de la présente étude

Document	Date	Rédacteur/Producteur	Nature des informations présentes
Rapport de 1907 sur déversoirs	21/10/1907	Divers	Photos d'un document d'archive recto verso
MNT Loire Moyenne 2002	2002	DREAL CVL	fichier SIG raster
Notice sur les déversoirs	2005	CETMEF	Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et des déversoirs
Levé topo du déversoir de Jargeau	2005	montargis geomètre expert	
Raster-ASCII	2011	FloodProBE Fli-Map	Données topographiques de la digue
EDD Val d'Orléans	2012	DREAL Centre SLBLB IRSTEA	Rapport et fichiers excel CARDIGUES et fichiers SIG onde de rupture
Recommandation pour le dimensionnement des EVC de barrage	2013	CFBR	
Etude des ruptures de digue par surverse	2013	Colloques	3 présentations du colloque du 12-14 juin 2013
Etude ECRIVALS	2014	BRL, Neologis	Rapport
Fiche PGF op 03 déversoir de Jargeau	2015		Fiche synthèse des opérations du PGF concernée par cette étude
Fiche PGF op 06 gestion surverse amont	2015		Fiche synthèse des opérations du PGF concernée par cette étude
Photos qui accompagnent le plan de localisation des désordres sur l'ouvrage (étude conjointe Cerema-Ifsttar de 2015 - Affaire C15RB0014)	2015	CEREMA de Blois	65 photos jpg
Jargeau_Rapport CEREMA Ifsttar	2015	CEREMA de Blois	Etudes géotechniques sur l'érodabilité de la rehausse de Jargeau l'IFSTTAR pour la réalisation d'essais à l'érodimètre à jets mobiles
Différentes images png	2015	Divers	
PHOTOS de sondages	2015	FUGRO	Photos uniquement
Synthèse	2015	DREAL Centre	
PGF Val d'Orléans	2015	DREAL Centre	Rapport
Fiche PGF op 01	2017		Fiche synthèse des opérations du PGF mise à jour en 2017
Fiche PGF op 02	2017		Fiche synthèse des opérations du PGF mise à jour en 2017
Rapport modélisation 2D CEREMA	janv-18	CEREMA de Blois	Rapport et fichiers SIG de résultats de modélisation
BDTOPO_3-0 traitement du 2019-06-28	2019	IGN	Base de données SIG éléments du territoire et de ses infrastructures
Fichier SIG travaux arasement banquettes	2020	DDT45	fichier SIG

2.2. Données de modélisations hydrauliques

Les données de modélisations hydrauliques sont les suivantes :

- Modélisation de l'Orléanais, référencement des crues à l'échelle d'Orléans – Avril 2018 par le CEREMA,
- Simulations supplémentaires réalisées par le CEREMA dans le cadre de cette étude avec le modèle de l'étude précédemment citée

Il est important de rappeler que le modèle hydraulique bidimensionnel du CEREMA ne prend en compte que le phénomène de rupture lié à la surverse. Les autres modes de défaillance (érosion interne, érosion externe, glissement et soulèvement hydraulique) ne sont donc pas considérés.

L'emprise modélisée par le CEREMA par un modèle TELEMAC 2D comprend notamment le val d'Ouzouer, le val d'Orléans et leurs déversoirs respectifs. La carte ci-dessous les localise.

Il est nécessaire de modéliser ces 2 vals concomitamment car ils sont hydrauliquement liés.



Figure 1 : Emprise du modèle 2D du Céréma et localisation des déversoirs et val (CEREMA 2018)

En septembre 2021, le Cerema a réalisé les simulations pour des occurrences de crues T170, T200, T250, T500 et T1000 dans l'état actuel et l'état aménagé notée « Septembre 2021 », avec :

- comme critères de déclenchement (basés sur l'hypothèse de la réalisation des programmes de travaux sur les autres vals, notamment Ouzouer et Sully) :
 - +0,10 m de surverse sur les vals sauf Orléans
 - -0,10 m sur le val d'Orléans sauf secteurs renforcés (> +0,10 m)
- avec une largeur de brèche de 100 m.

Ces modélisations ont été utilisées essentiellement dans le cadre de l'AMC/ACB.

Les profils en long des simulations hydrauliques pour la T200 sont représentés pages suivantes. Le profil en long de la crue T200 en état aménagé (ZQ200 sur le graphique suivant) de 2017-2018 est utilisé pour dimensionner les travaux.

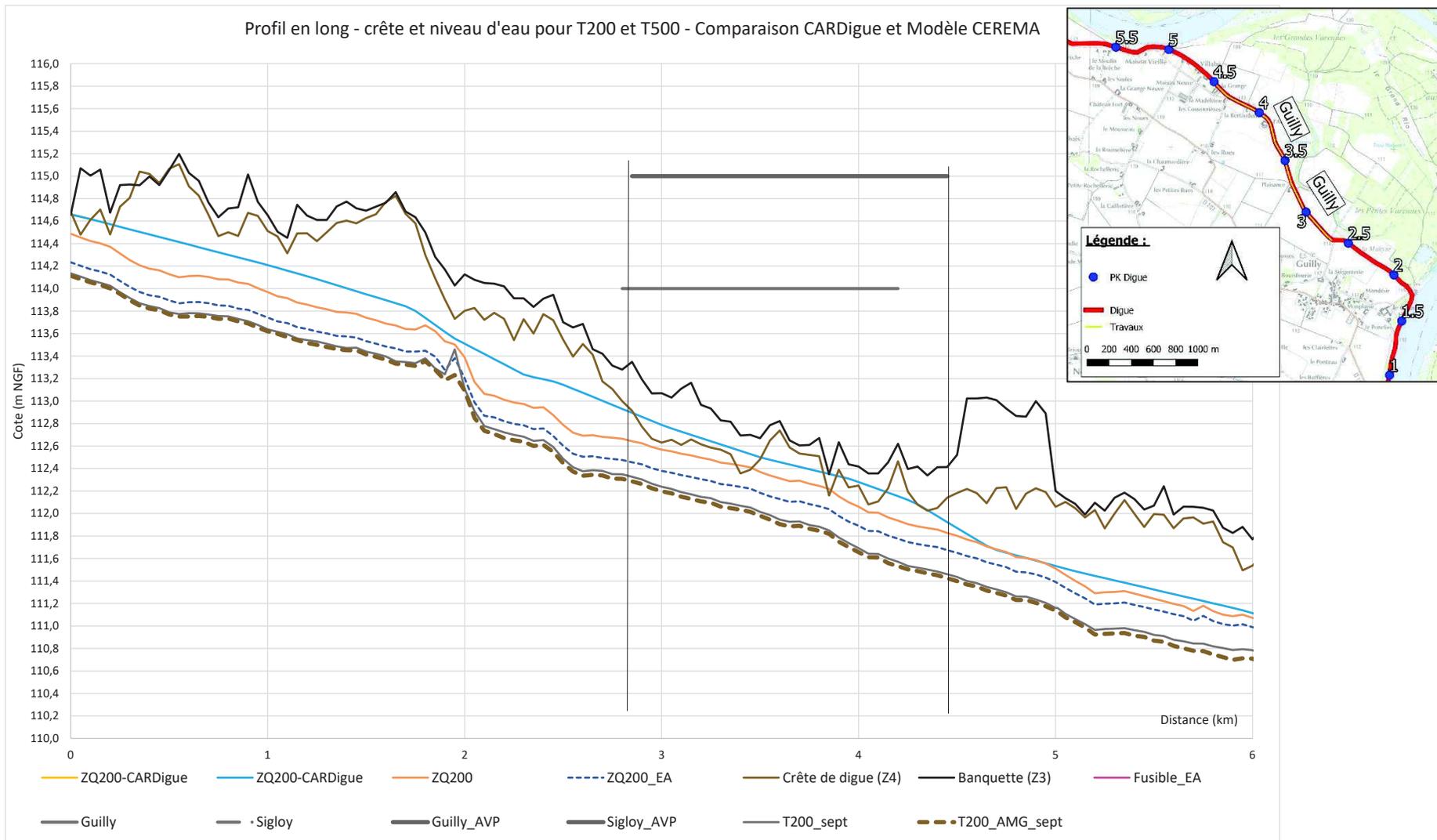


Figure 2 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Guilly (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

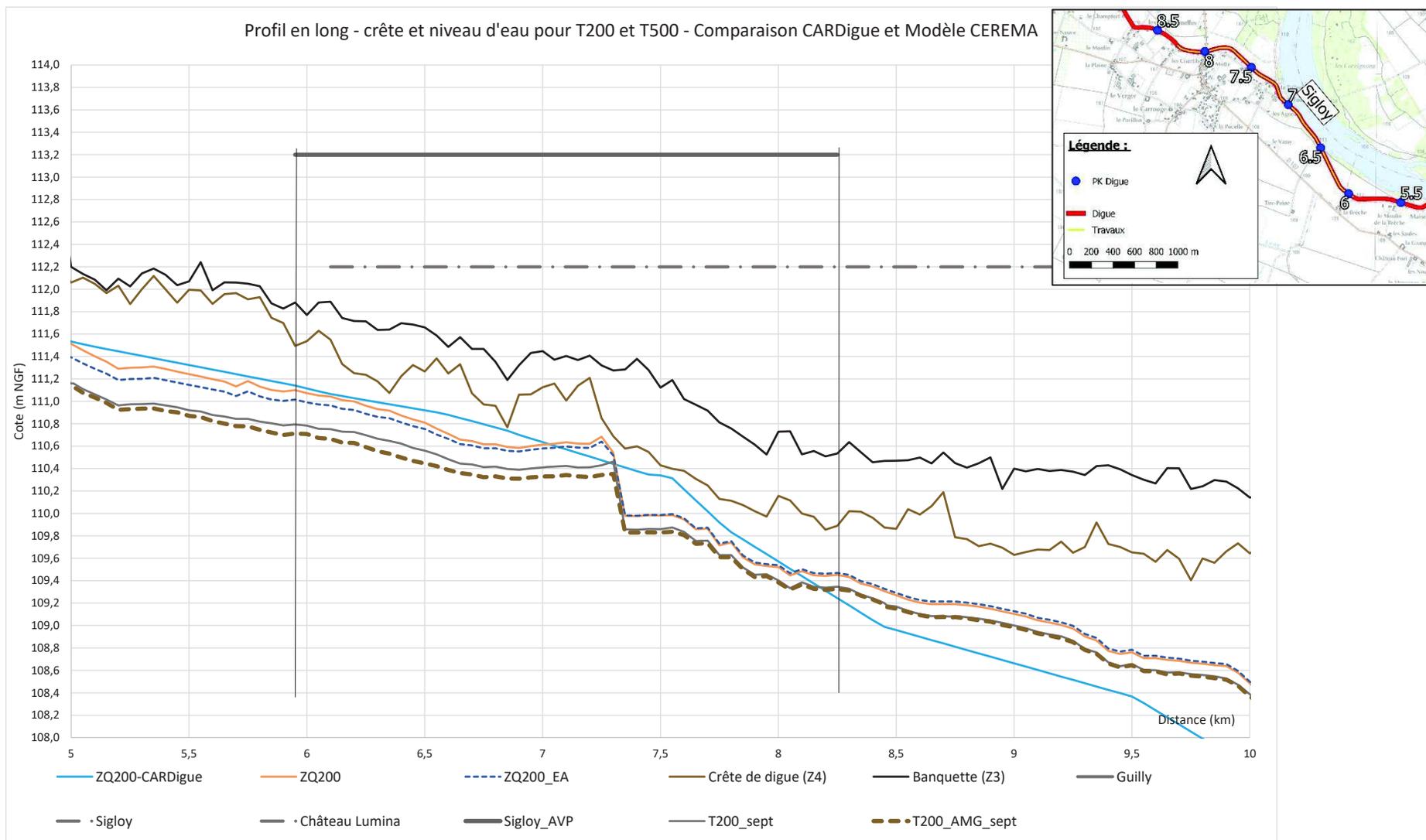


Figure 3 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Sigloy (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

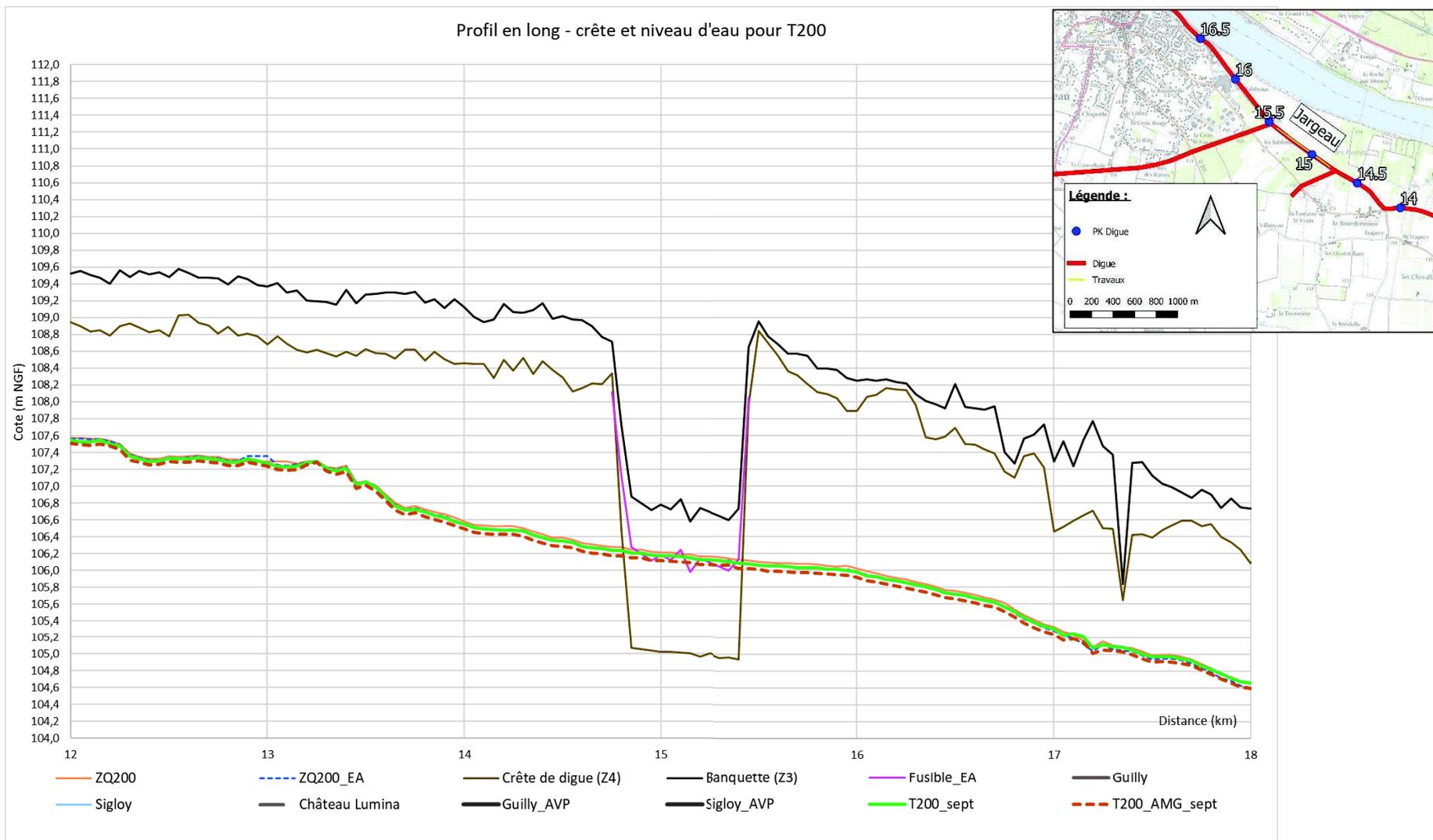


Figure 4 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Jargeau (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

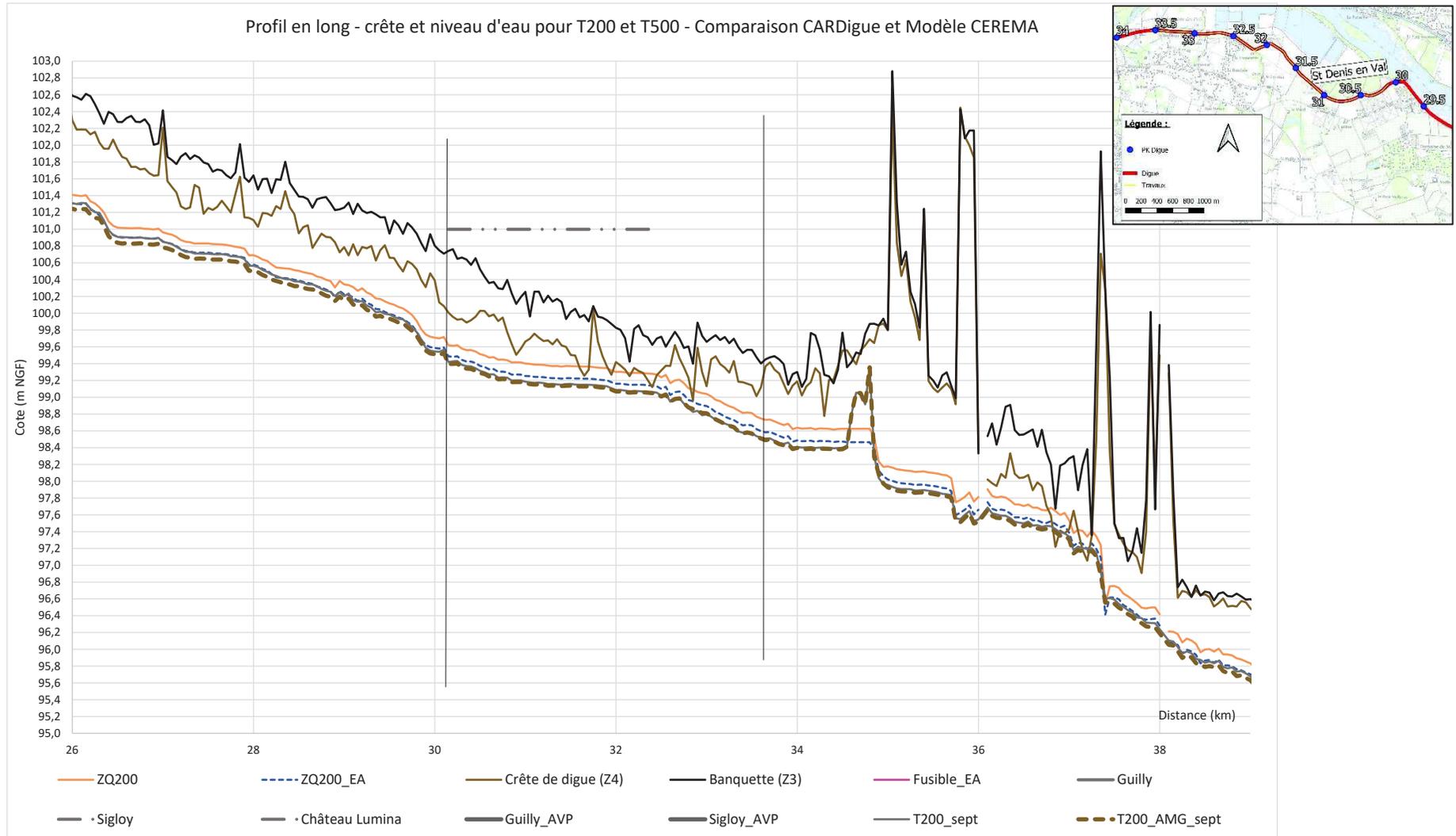


Figure 5 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 – Secteur de Saint Denis en Val (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

2.3. Données géotechniques disponibles

Sigloy

- CEREMA - LEVEES DU VAL D'ORLEANS (45) Investigations géotechniques complémentaires - Mars 2015 – Ind c
- CETE - Commune de Sigloy (45) - Levées de la Loire rive gauche État des digues et définition des Confortements Novembre 2005 – indB
- CETE - Commune de Ouvrouer-les-Champs (45) Levées de la Loire rive gauche État des digues et définition des confortements- janvier 2005 – indA
- FUGRO - Chantiers expérimentaux d'écrans étanches sur les digues de la Loire Site n°3 Sigloy (45)-décembre 2012 – indB
- FUGRO - Chantiers expérimentaux d'écrans étanches sur les digues de la Loire Site n°4 Ouvrouer - Sigloy (45)-décembre 2012 - indB
- FUGRO - Investigations géotechniques sur le Val d'Orléans Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45) – mai 2015 – indD
- FUGRO - Projet de travaux sur la levée d'Orléans - SIGLOY (45) – juillet 2015 – ind A
- FUGRO - Projet de travaux sur la levée d'Orléans – Partie1 : SIGLOY (45) – octobre 2016 – ind A
- FUGRO - SIGLOY (45) – mars 2016 – ind B
- FUGRO - Dignes de Loire (45) Guilly Sigloy St Denis en Val St Pryvé St Mesmin – décembre 2015 – ind B
- FUGRO - Guilly - Sigloy (45)– février 2016 – ind B

Guilly

- CEREMA - LEVEES DU VAL D'ORLEANS (45) Investigations géotechniques complémentaires - Mars 2015 – Ind c
- CETE- Levée de Loire rive gauche à Guilly (45)-Lieu-dit « Maison Vieille » Reconnaissance géotechnique – Diagnostic de stabilité-Juin 2009- indA
- CETE - Levée de Loire rive droite à Guilly (45)-Lieu-dit Bouteille (45) Reconnaissance géotechnique – Diagnostic de stabilité et principe de confortement – mai 2009-indB
- FUGRO - Chantiers expérimentaux d'écrans étanches sur les digues de la Loire Site n°1 La Grange (45)-décembre 2012 – indB
- FUGRO - Chantiers expérimentaux d'écrans étanches sur les digues de la Loire Site n°2 Maison Vieille (45)-décembre 2012 – indB
- FUGRO - Investigations géotechniques sur le Val d'Orléans Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45) – mai 2015 – indD
- FUGRO - Dignes de Loire (45) Guilly Sigloy St Denis en Val St Pryvé St Mesmin – décembre 2015 – ind B
- FUGRO - Guilly - Sigloy (45)– février 2016 – ind B

Château Lumina

- CEREMA - LEVEES DU VAL D'ORLEANS (45) Investigations géotechniques complémentaires - Mars 2015 – Ind c
- CETE- Levée du Rio à Saint Denis en Val (45) Etude de stabilité-Mai 2006- indA
- FUGRO - St-Pryvé-St-Mesmin / St-Denis-en-Val (45) – Février 2014 IndA
- FUGRO - Investigations géotechniques sur le Val d'Orléans Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45) – mai 2015 – indD
- FUGRO - Dignes de Loire (45) Guilly Sigloy St Denis en Val St Pryvé St Mesmin– décembre 2015 – indB

Jargeau

- FUGRO - Investigations géotechniques sur le Val d'Orléans Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45) – mai 2015 – indD
- CEREMA - Diagnostic de la rehausse dans le cadre du projet de réhabilitation du déversoir – Jargeau (45) – Affaire C15RB0014-01 indC

Autres

- CETE- ORLEANS – Levée du Rio à l'île Charlemagne- Recherche de karsts sous la digue indA
- CETE – Création d'un seuil et enrochement d'un pied de levée – décembre 2003- IndB
- FUGRO - Chantiers expérimentaux d'écrans étanches sur les digues de la Loire Site n°5 Ile Charlemagne (45)-décembre 2012 – indC

3. Contexte des sites étudiés

3.1. Contexte environnemental et incidences environnementales et paysagère du projet

3.1.1. Enjeux environnementaux et réglementaires

3.1.1.1. Zones de protection spéciale, Natura 2000

Les opérations se situent à proximité et/ou limitrophe de la Zone de Protection Spéciale (ZPS) FR2410017 « Vallée de la Loire du Loiret » (cf. Figure 6). Ces zones font parties du réseau Natura 2000.

D'après l'Inventaire National du Patrimoine Naturel, la superficie de cette ZPS est de 7 684 ha. En dehors de ces qualités pour héberger différentes espèces, elle est aussi importante dans les phases migratoires des oiseaux. La dynamique du fleuve est donc l'intérêt majeur de cette zone. Elle est également réputée pour ses vastes forêts résiduelles à bois dur, qui font partie des plus belles de la Loire moyenne.

Elle reste cependant très vulnérable (espèces exotiques, prélèvement de sables et graviers, anthropisation, ...).

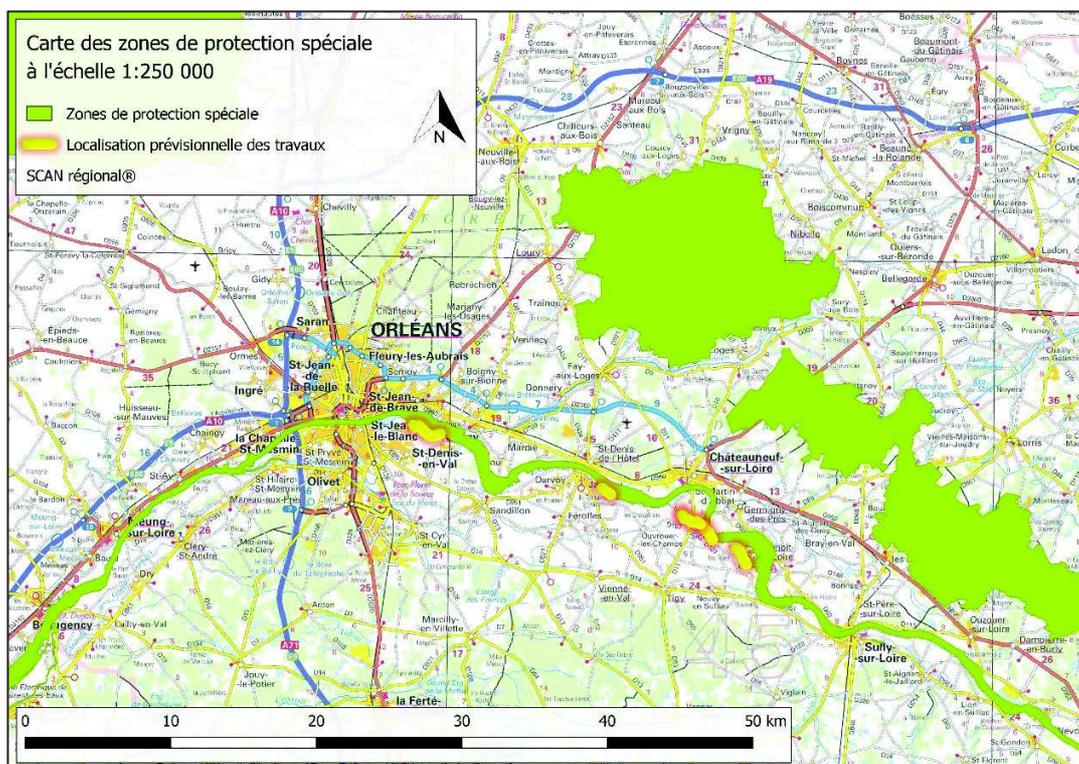


Figure 6 : Zone de protection spéciale Natura 2000 "Vallée de la Loire du Loiret" (Antea Group)

3.1.1.2. Sites d'importance communautaire, Natura 2000

Les opérations se situent à proximité et/ou limitrophe du Site d'Importance Communautaire (SIC) FR2400528 « Vallée de la Loire de Tavers à Belleville-sur-Loire » (cf. Figure 7). Ces sites font également parties du réseau Natura 2000.

D'après l'Inventaire National du Patrimoine Naturel, la superficie de ce SIC est de 7 120 ha. Ce site est naturellement lui aussi fortement liés à la dynamique du fleuve. Les milieux et les espèces qui le composent sont ses qualités et intérêts majeurs, tant sur les nidifications que sur les reproductions. Mais il est lui aussi fortement vulnérable aux différentes pressions et menaces qui le concerne (espèces exotiques, prélèvement de sables et graviers, anthropisation, ...).



Figure 7 : Site d'importance communautaire Natura 2000 "Vallée de la Loire de Tavers à Belleville-sur-Loire" (Antea Group)

Il est à noter que l'ensemble des ZPS et SIC, Natura 2000, ont leurs emprises dans le lit de la Loire.

Conformément au décret n°2010-365 du 09/04/2010 relatif à l'évaluation des incidences Natura 2000, le projet d'aménagement étant concerné par des zones classées Natura 2000, il doit faire l'objet d'une évaluation des incidences au regard des objectifs de conservation.

En effet, ce décret relatif à l'évaluation des incidences Natura 2000 précise au point II que « Sauf mention contraire, les documents de planification, programmes, projets, manifestations ou interventions listés au I sont soumis à l'obligation d'évaluation des incidences Natura 2000, que le territoire qu'ils couvrent ou que leur localisation géographique soient situés ou non dans le périmètre d'un site Natura 2000. »

La section 1 indique les dispositions relatives à l'évaluation des incidences Natura 2000 et notamment son point 3 qui précise que l'évaluation d'incidences doit être réalisée pour « Les travaux et projets devant faire l'objet d'une étude ou d'une notice d'impact au titre des articles L. 122-1 à L. 122-3 et des articles R. 122-1 à R. 122-16 » du code de l'environnement.

3.1.1.3. Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF).

Les opérations sont également situées à proximité de ZNIEFF :

- ZNIEFF de type 1 : « Pelouses de l'île aux canes et milieux annexes » 240009787 (au niveau de Guilly)
- ZNIEFF de type 1 : « Ile et grèves de Combleux » 240009434 (au niveau de St-Denis-en-Val)
- ZNIEFF de type 2 : « La Loire orléanaise » 240030651

Ces zones permettent notamment d'identifier et décrire les secteurs de plus grand intérêt écologique.

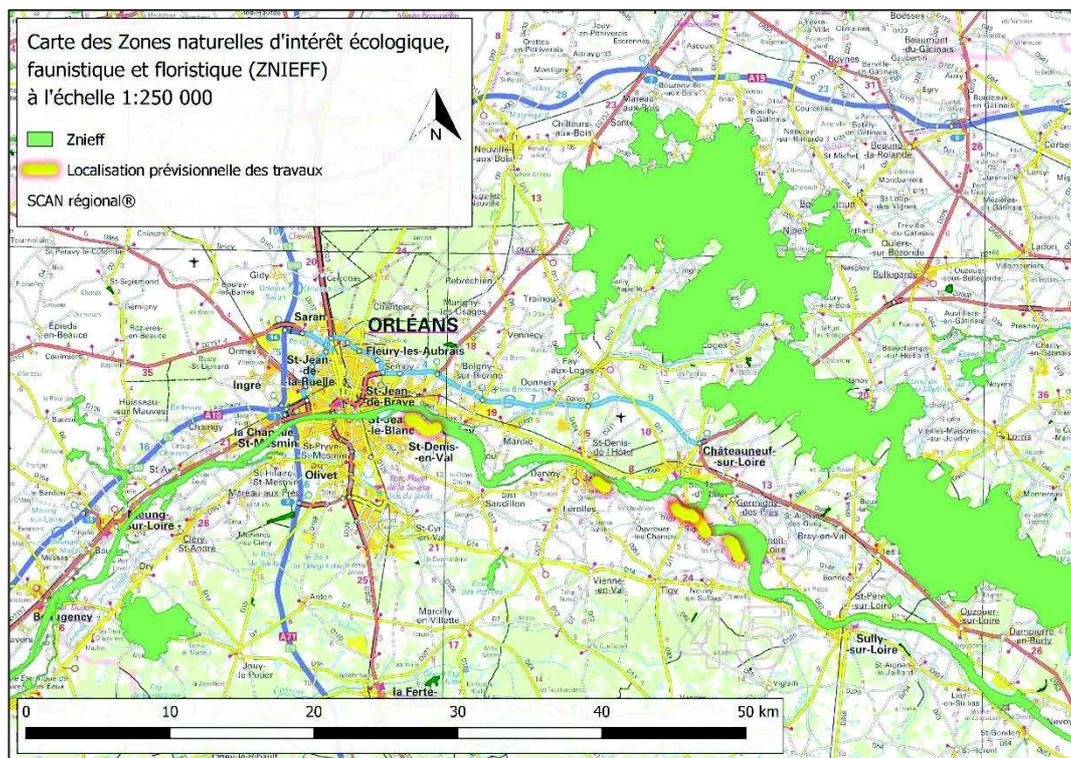


Figure 8 : Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. (Antea Group)

Il est à noter que pour l'ensemble des ZNIEFF, comme pour les zones Natura 2000, leurs emprises sont dans le lit de la Loire soit uniquement le côté Loire des digues du Val d'Orléans.

3.1.1.4. Zones d'Importances pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)

La Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux « Vallée de la Loire : Orléanais » est présente à proximité des opérations éventuelles. Seules celles sur la commune de St-Denis-en-Val ne sont pas concernées par cette ZICO.

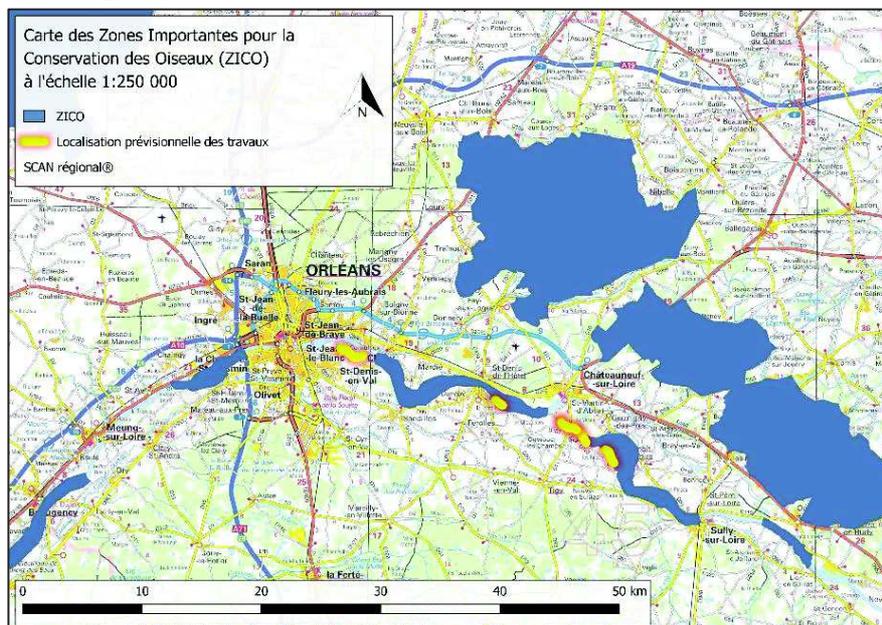


Figure 9 : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (Antea Group)

3.1.1.5. Réserves Naturelles Nationales

Aucune des opérations ne se situent sur une Réserve Naturelle Nationale. Celle de Saint-Mesmin est la plus proche et se situe à environ 8 kilomètres à l'ouest des opérations prévues à St-Denis-du-Val (cf. Figure 10).

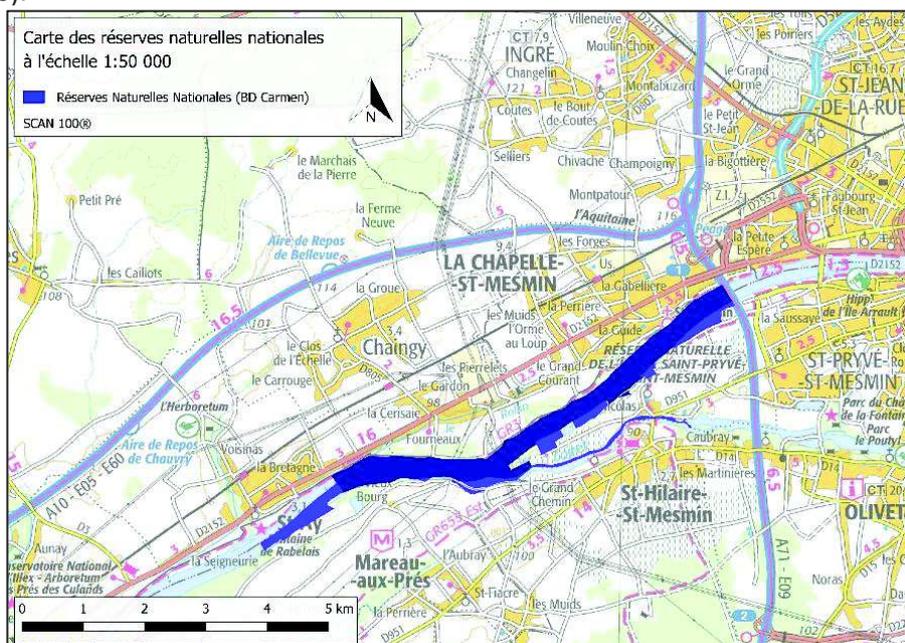


Figure 10 : Réserve Naturelle Nationale (Antea Group)

3.1.1.6. Sites classés ou inscrits au titre des monuments historiques

Seul le linéaire de St-Denis-en-Val se trouve à proximité d'un site classé ou inscrit (ruines du Château de l'Isle), et donc de son périmètre de protection. Les autres linéaires sont situés à proximités de différents monuments ou sites mais ne sont pas concernés par les périmètres de protection associés.

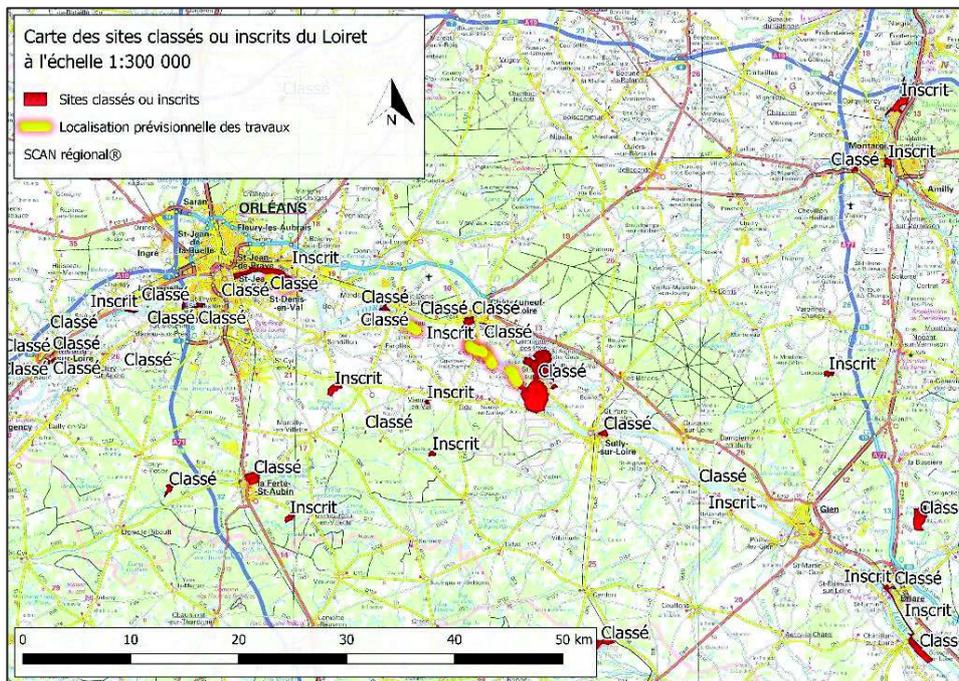


Figure 11 : Sites classés ou inscrits du Loiret (Antea Group)

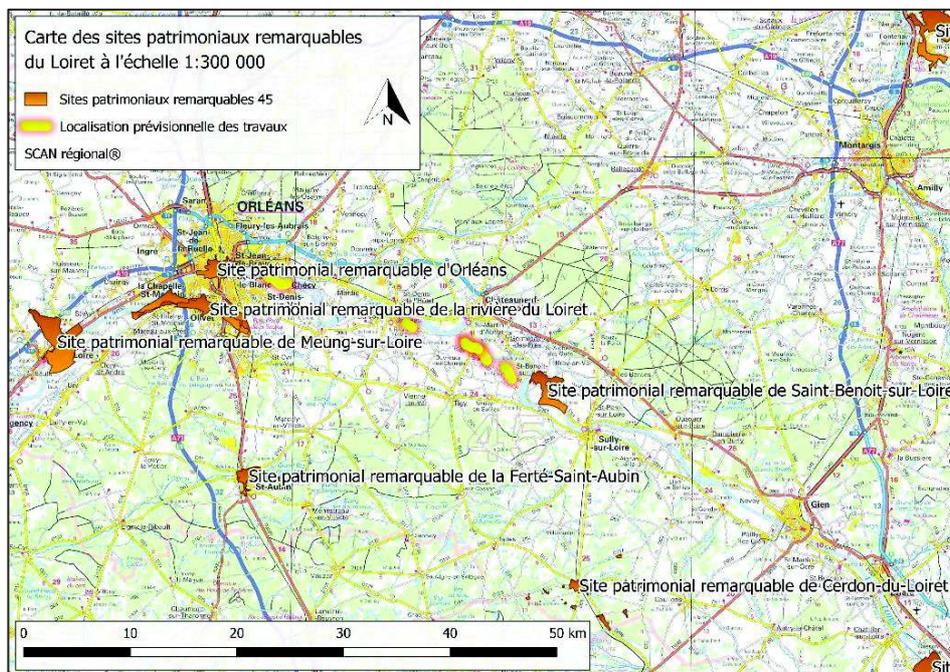


Figure 12 : Sites patrimoniaux remarquables du Loiret (Antea Group)

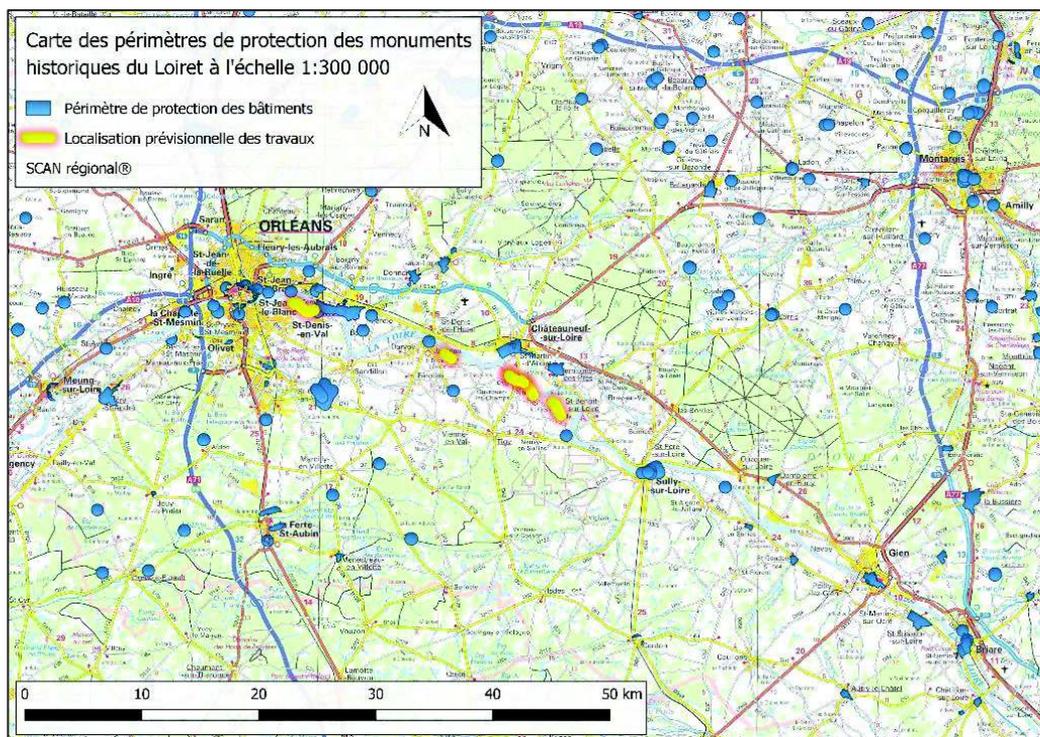


Figure 13 : Périmètres de protection des monuments historiques du Loiret (Antea Group)

Dans le périmètre d'un site inscrit, toute modification de l'état ou de l'aspect des lieux est soumise à autorisation spéciale, délivrée selon la nature des travaux soit par le ministre des sites soit par le Préfet de département (article L341-10, R341-10 et R341-12 du code de l'environnement).

L'instruction des travaux, constructions ou installations soumis au régime d'autorisation au titre de la procédure relative aux sites inscrits comprend également une évaluation des incidences Natura 2000, qui peut se limiter à une évaluation simplifiée dès lors que l'analyse succincte du projet et de ses enjeux démontre l'absence d'incidence (article R.414-21 du code de l'environnement).

Il est à noter que les effets du classement ne s'appliquent qu'à l'intérieur du périmètre délimitant le site. La réglementation ne prévoit pas pour les sites inscrits de notion d'abords ni de covisibilité, comme c'est le cas pour les monuments historiques.

3.2. Contexte géologique et géotechnique

3.2.1. Analyses des données disponibles

Au préalable, il est à noter que de certains documents fournis ne sont pas complets. Les annexes avec les essais géotechniques in situ et en laboratoire ne sont pas toujours fournis. Nous nous rapprocherons du CEREMA au besoin dans la phase suivante.

Cette partie permet d'identifier les données disponibles au droit des secteurs à étudier. Certaines zones ne présentent aucune donnée géotechnique. Les éventuelles investigations géotechniques supplémentaires nécessaires seront précisées et plus ciblées lorsque les linéaires et les travaux d'aménagement seront mieux cadrés pour la phase PRO.

3.2.1.1. Saint Denis en val

3.2.1.1.1. Présentation des études géotechniques réalisées jusqu'au stade actuel

Parmi les données d'entrée, plusieurs rapports traitent des digues de cette commune. La carte ci-dessous révèle les différents secteurs étudiés et la zone étude du présent projet.

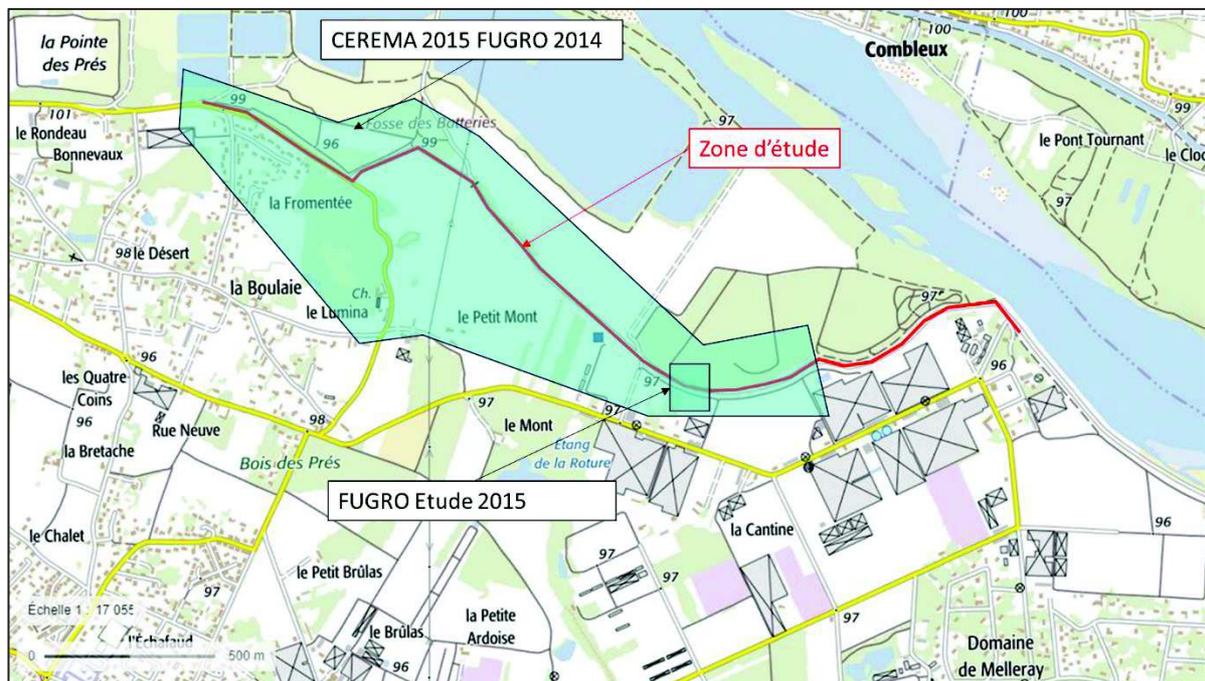


Figure 14 : Localisation des secteurs d'étude à Château Lumina et linéaire de la zone d'étude

Au droit de la zone d'étude, on dénombre les études géotechniques et essais/sondages suivants :

Tableau 2 : Synthèse des données géotechniques disponibles sur Saint-Denis-en-Val

BE	Document	site	caractéristique de la zone d'étude	sondages géotechniques réalisés	quantité	essais in situ	essais en laboratoire	avis sur le document et les données géotechniques de la zone
CEREMA 2015	LEVEES DU VAL D'ORLEANS (45) Investigations géotechniques complémentaires	St Denis en Val (45)	plusieurs sites étudiés	sondages carottés	5	1 essais de perméabilité dans les terrains d'assise et dans le corps de digue	14 GTR	pour 3000 m de linéaire , la densité des sondages est moyenne cependant les essais réalisés et les profondeurs atteintes sont correctes (corps de digue et terrains d'assise)
				sondages destructifs	5		1 essai triaxial et 1 cisaillement	
				sondages perméafor	5			
FUGRO 2014	St-Pryvé-St-Mesmin / St-Denis-en-Val (45)	St Denis en Val (45)	Sur St-Denis-en-Val, le linéaire étudié est d'environ 2200 mètres	pénétromètre statique	15			le site appartient à notre secteur. Les pénétromètres atteignent 10 à 15 m de profondeur
FUGRO 2015	Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45)	St Denis en Val (45)	plusieurs sites	Sondages tarières	1	-	2 GTR	Les sondages sont réalisés à faibles profondeurs

Bien que l'on ait déjà des résultats d'investigations, la quantité de sondages et d'essais semble faible vis-à-vis du linéaire de la digue (<2km).

De plus, il existe au droit de ce secteur une zone où aucune étude n'a été faite. Celle-ci est présentée sur le plan ci-dessous.

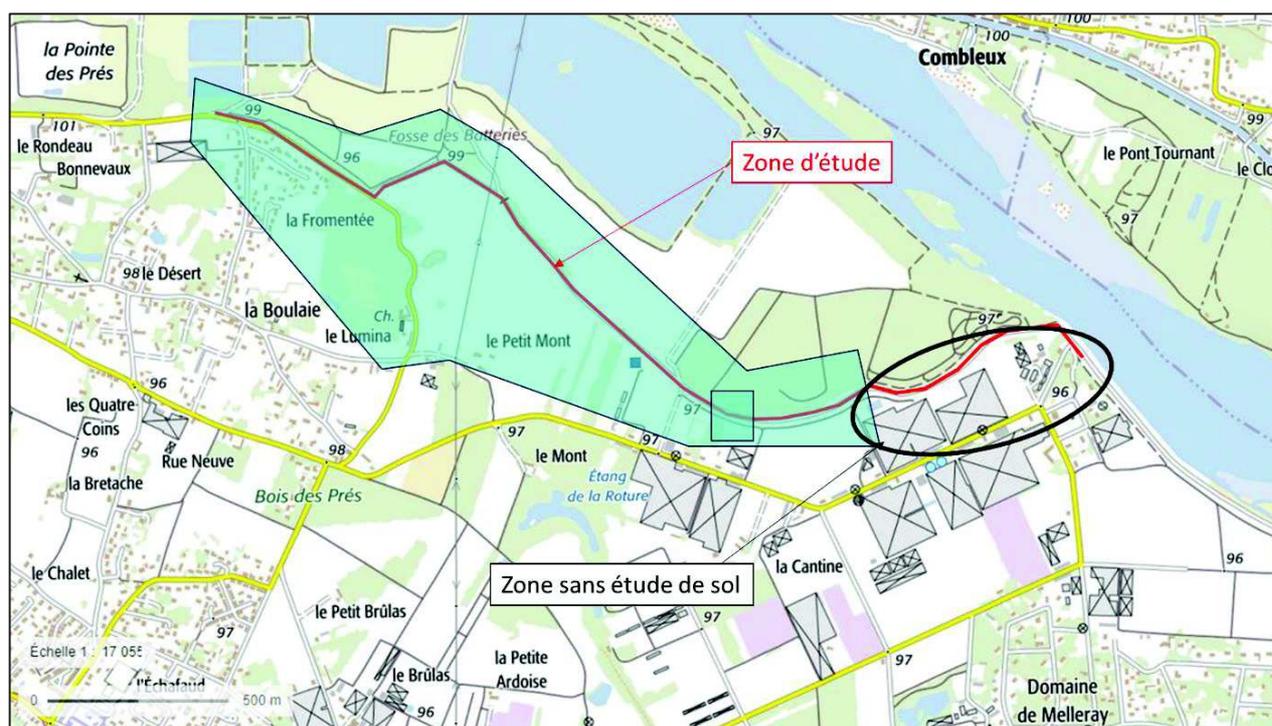


Figure 15 : Localisation de la zone sans investigation

Nota : L'étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A, révèle qu'en 2013, aucun sondage n'a été réalisé sur la zone du présent projet St Denis en Val. Seules des mesures géophysiques ont été réalisées.

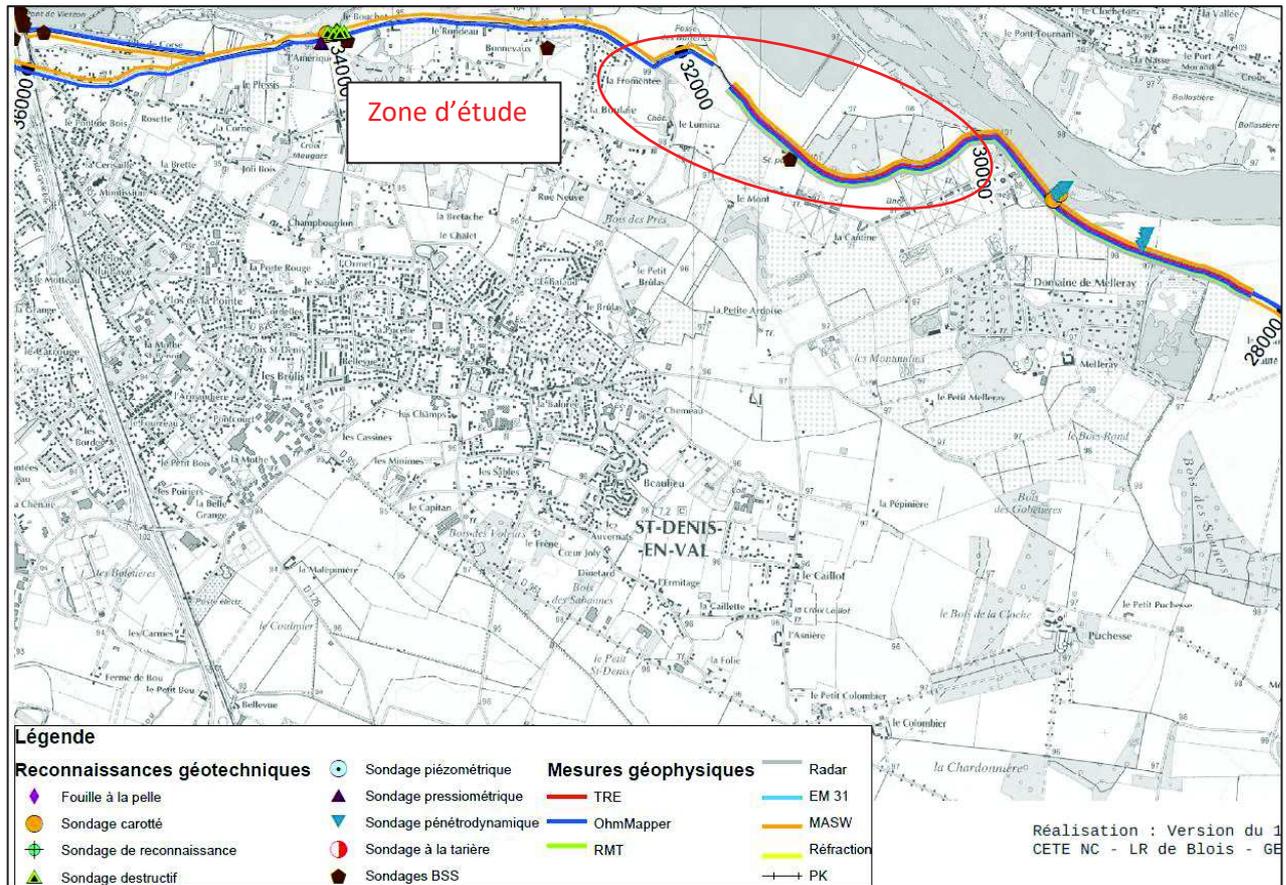


Figure 16 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à St Denis en Val (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A)

3.2.1.1.1. Contexte géotechnique et synthèse des investigations géotechniques

Carte géologique

D'après la carte géologique 1/50 000e de Orléans (planche n°363), et les sondages issus du dossier du sous-sol (BSS) établis par le BRGM, les formations géologiques rencontrées au droit du secteur d'étude sont les suivantes :

- Des Alluvions actuelles, récentes ou anciennes Fz/Fy/Fw : Sables, limons, graviers et galets ;
- Formation de Beauce - g3-Aquitain : Calcaires de Beauce.

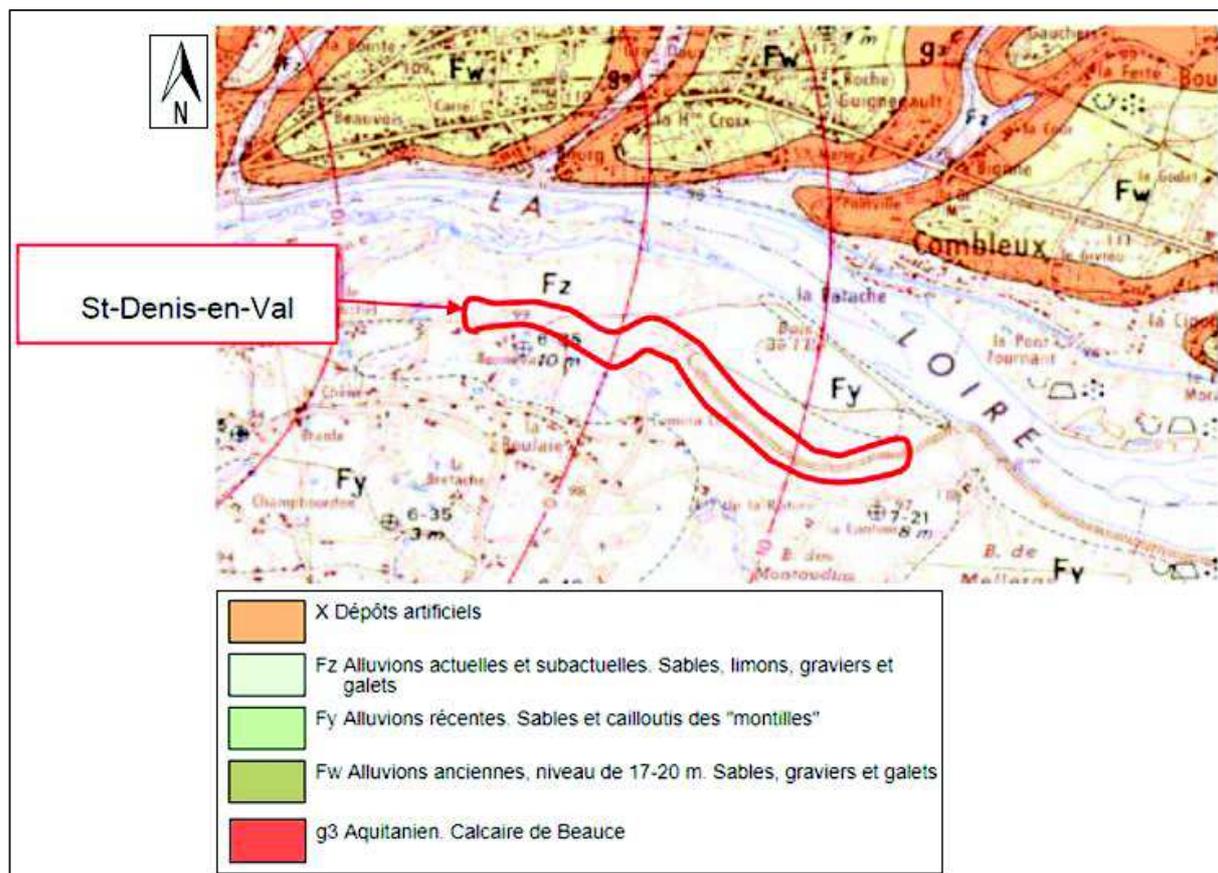


Figure 17 : Carte géologique du secteur de Saint Denis en val au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr)

Lithologie

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante :

- **Corps de digue** : formation à dominante argileuse à silteuses avec des passages limoneux observés par endroits, ou de nature sableuse ou argilo-sableuse ;
- **Terrains d'assise** : formation argileuse à sableuse ou sableuses à graveleuses, avec très peu de passages limoneux ;
- **Substratum** : Calcaire marneux plus ou moins fracturé ;
- **Banquette** : Sable fin à moyen légèrement limoneux, à quelques racines.

Essais en laboratoire et caractéristiques mécaniques des sols

- Corps de digue

Essais d'identification GTR

Au total 4 séries d'essai d'identification GTR ont été réalisées, sur les matériaux du corps de digue et les matériaux constituant les banquettes (soit 2 séries GTR dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015 et les 2 autres lors de la mission géotechnique en 2014 par FUGRO) :

Tableau 3 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val

	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ρ_h	ρ_s	
Nombre d'essais	4	-	-	-	-	-
Min	0,5	-	-	-	-	11,8*
Max	0,99	-	-	-	-	14*
Moyenne	0,73	-	-	-	-	12,9*
Classes GTR	B5 (Sables et graves très silteux)					

*sur la base des données disponibles

Sur la base des essais d'identification GTR, les matériaux du corps de digue sont constitués majoritairement de formation à faciès sableux et graves très silteux. Les matériaux constituant les banquettes sont de même classe GTR que ceux du corps de digue (classe GTR B5).

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

1 essai triaxial a été réalisé dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015. Les données c_{cu} et φ_{cu} ne sont pas consultables dans les documents transmis :

Tableau 4 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val

Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
Sondage	Nature	$\gamma_h (KN/m^3)$	$C' (kPa)$	$\varphi' (^\circ)$
SC4	Limon argilo-sableux	20	25	21

Essais au pénétromètre statique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont faibles à moyennes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 1 et des valeurs supérieures atteignant 10 MPa sur l'ensemble du secteur.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité type Nasberg en régime transitoire (au droit de sondages destructifs) et des mesures de perméabilité ont été effectuées au Perméafor (PK3 à PK7), sur les matériaux du corps de digue. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité. Il est à noter que les données des essais au Perméafor PK6 à PK7 ne sont pas disponibles sur la base des éléments reçus.

Tableau 5 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Saint-Denis-en-Val

Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
PK3	Alluvions limoneuses à argileuses	< 5,0E-05
PK4	Alluvions argileuses	< 5,0E-05
PK5	Alluvions limoneuses à sableuses	< 5,0E-05 à > 5,0E-05
SD4	Limons argileux	4,10E-09

- Terrains d'assise

Essais d'identification GTR

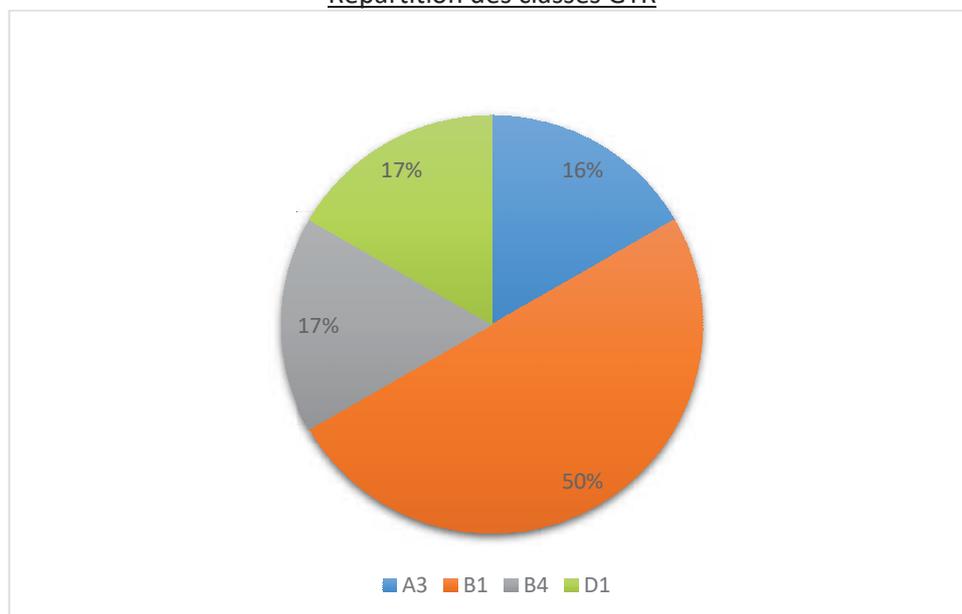
11 séries d'essai d'identification GTR ont été réalisées dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015 dont 6 sont exploitables :

Tableau 6 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val

	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ρh	ρσ	
Nombre d'essais	6*	-	-	-	-	-
Min	0,08	-	-	-	-	-
Max	0,4	-	-	-	-	-
Moyenne	0,17	-	-	-	-	-
Classes GTR	B1, B4, A3, D1					

*sur la base des données exploitables

Répartition des classes GTR



Les terrains d'assise sont constitués majoritairement de formation sablo-silteuses (classe GTR : B1), soit plus de 2/3 en termes de proportion de répartition des classes GTR. On retrouve en proportion 1/3 de formation à faciès argileux/argilo-marneux et à faciès graveleux alluvionnaire propre.

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

1 essai de cisaillement rectiligne type CD a été réalisé dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015 :

Tableau 7 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val

Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
Sondage	Nature	$\gamma_h (KN/m^3)$	$C' (kPa)$	$\phi' (^{\circ})$
SC4	Argile limoneuse	20	17	17

Essais au pénétromètre statique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont moyennes à bonnes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 2 et des valeurs supérieures atteignant 35 MPa sur l'ensemble du secteur. Des valeurs faibles ponctuelles ont été enregistrées au droit de certains sondages.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité type Nasberg en régime transitoire (au droit de sondages destructifs) et des mesures de perméabilité ont été effectuées au Perméafor (PK3 à PK7), sur les matériaux du corps de digue. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité. Il est à noter que les données des essais au Perméafor PK6 à PK7 ne sont pas disponibles sur la base des éléments reçus.

Tableau 8 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Saint-Denis-en-Val

Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
PK3	Alluvions limoneuses à argileuses	< 5,0E-05
PK4	Alluvions argileuses	< 5,0E-05
PK5	Alluvions limoneuses à sableuses	< 5,0E-05 à > 5,0E-05
SD4	Argile limoneuse	2,70E-09
SD6	Argiles sableuses et sables fins	1,10E-07

Niveaux d'eau

Des niveaux ont été recensés au droit des sondages carottés. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Synthèse des niveaux d'eau relevés en forage – Secteur Saint-Denis-en-Val

Sondages	Horizon	Date	Cote /Tête de sondage (m NGF)	Profondeur du niveau d'eau en fin de forage (m/Tête de forage)	Niveau d'eau (m NGF)
SC3	Alluvions sableuses	06/10/2014	91,70	7,90	83,80
SC4	Alluvions sableuses et graveleuses/Substratum	07/10/2020	91,70	7,90	83,80
SC5	Alluvions sableuses	07/10/2014	91,70	8,10	83,60
SC6	Alluvions sableuses	08/10/2014	91,90	8,10	83,80

Pour rappel, les sondages carottés ont été réalisés avec injection d'eau. Les niveaux d'eau observés au droit de ces sondages correspondent à des niveaux d'eau non stabilisés, pouvant être perturbés par l'apport d'eau pour la réalisation des forages.

Modèle géotechnique

Tableau 10 : Modèle géotechnique – Secteur Saint-Denis-en-Val

Formation	Faciès	GTR	γ_h (KN/m ³)	C'(kPa)	ϕ' (°)	K^{**}
Corps de digue	Sable silteux	B5	20	0*	30*	5,00E-04
	Argileux		20	25	20	5,00E-06
	Limono-argileux/limono-sableux		20	10	20	5,00E-06
Terrains d'assise	Sableux	B1, B4, A3, D1	20	0*	30*	5,00E-04
	Argileux		20	25	20	5,00E-06
Substratum	Calcaire marneux +/- altéré	-	-	-	-	-

* données sur la base de retour d'expérience

** données sécuritaires

3.2.1.2. Jargeau

3.2.1.2.1. Présentation des études géotechniques réalisées jusqu'au stade actuel

Pour le site de Jargeau, parmi les données fournis, deux rapports traitent du linéaire de digue de notre étude :

- FUGRO (2015) ;
- CEREMA (2015).

Dans ce rapport il est stipulé que 2 sondages ont été réalisés sur le site. Ces sondages de faibles profondeur (0,5-0,6m) sont localisés sur le plan ci-dessous.

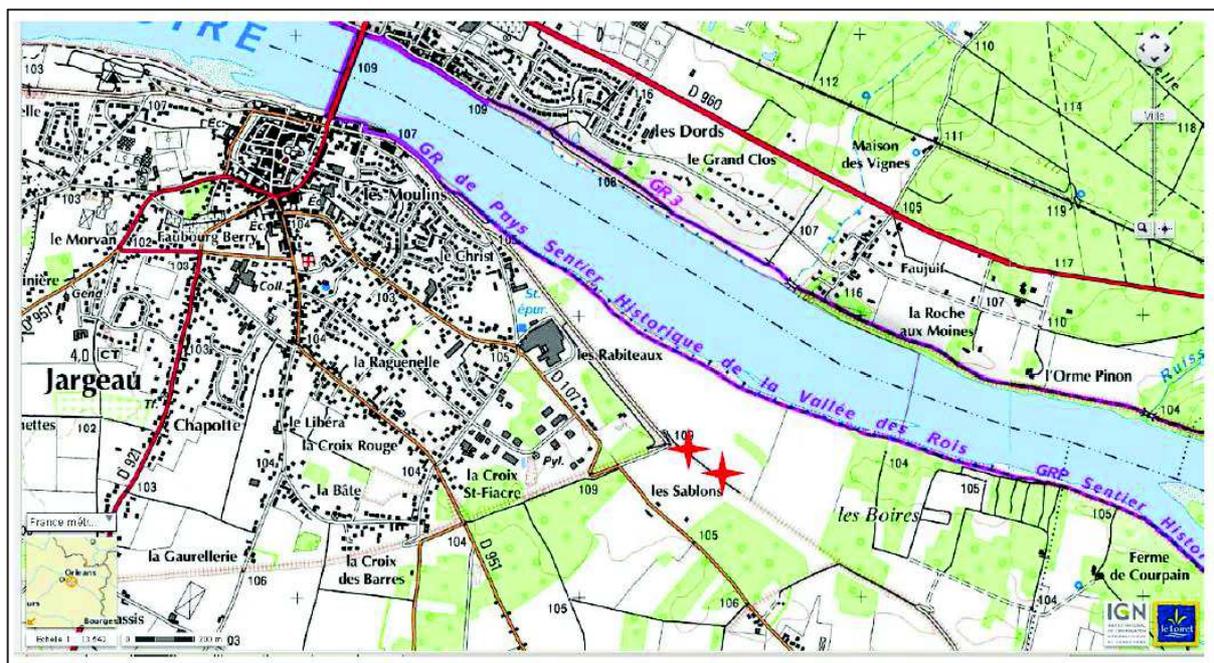


Figure 18 : Localisation des sondages réalisés par Fugro à Jargeau

Lors de ces sondages, 2 analyses GTR ont été faites et mettent en évidence des terrains superficiels de type B5. Ces sondages ne sont pas répartis sur le linéaire d'étude de la digue.

En complément, le CEREMA a réalisé des investigations géotechniques sur 10 profils répartis le long du fusible. Un sondage à la tarière et deux sondages au pénétromètre dynamique ont été réalisés en crête de fusible sur chaque profil.

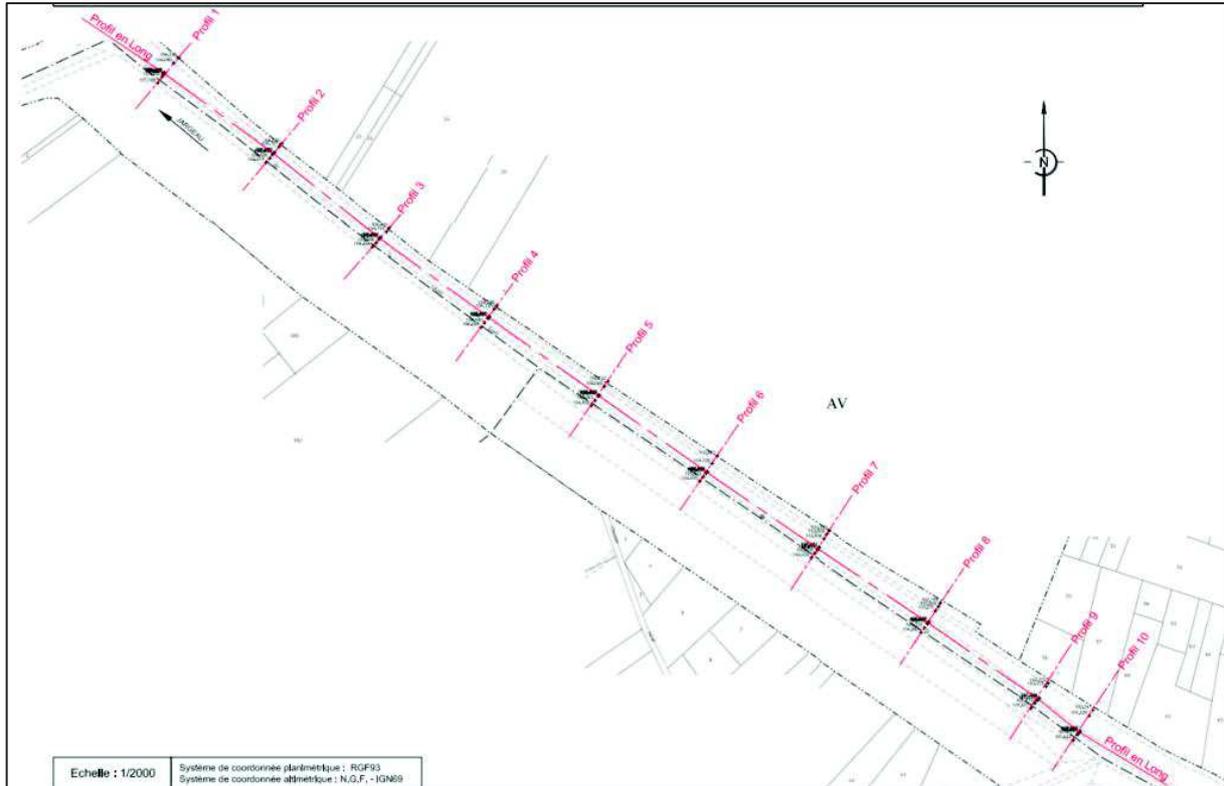


Figure 19 : Plan d'implantation des investigations réalisés par le CEREMA à Jargeau

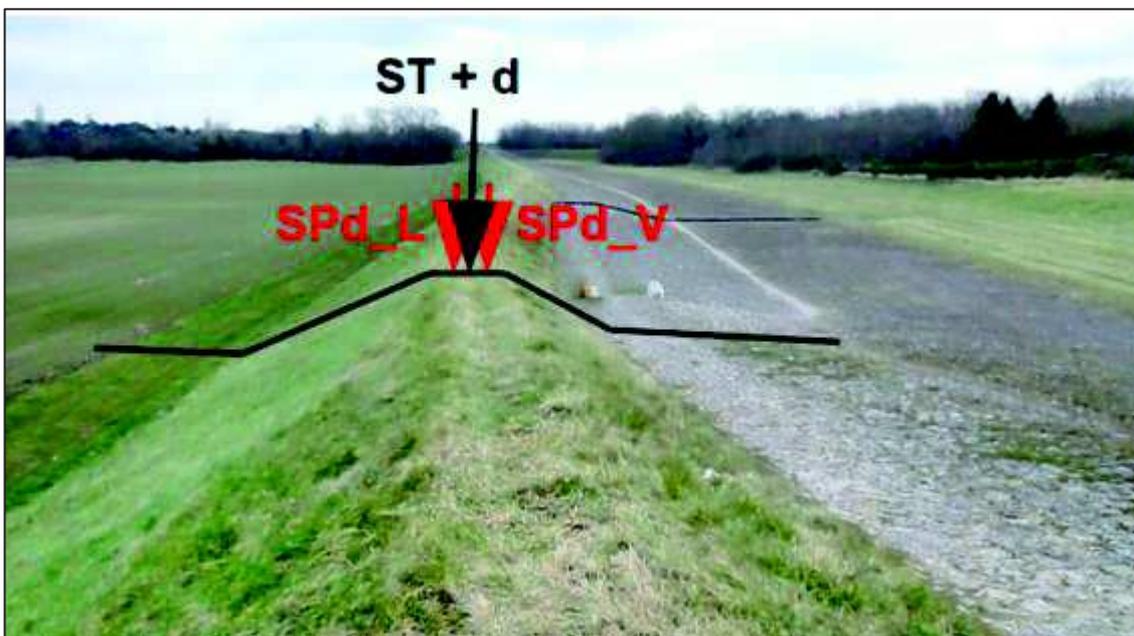


Figure 20 : Coupe type d'investigations réalisés par le CEREMA à Jargeau

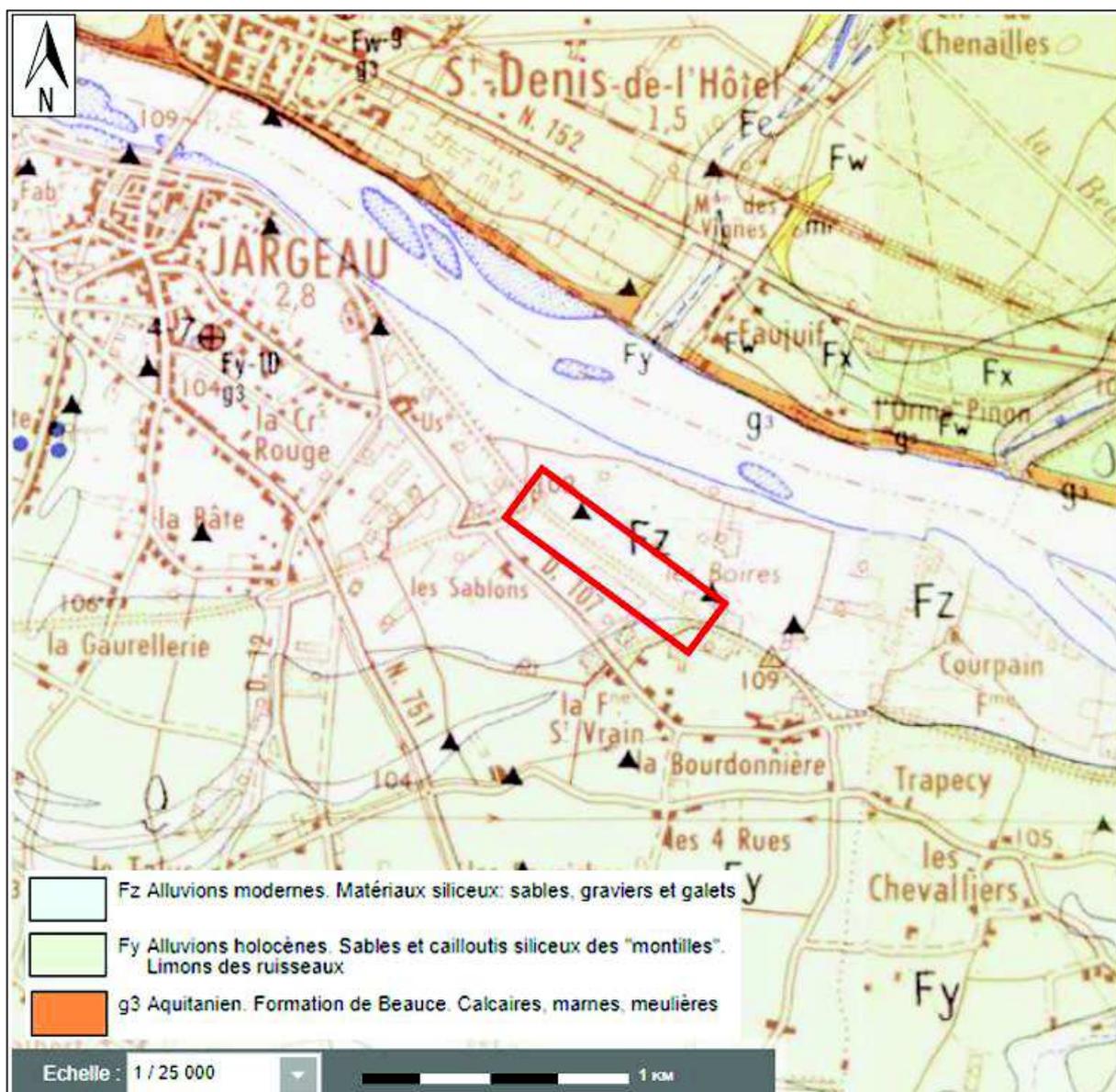
14 essais à l'Erodimètre à Jets Mobiles ont été réalisés par L'IFSTTAR sur les profils 3 et 7.

3.2.1.2.2. Contexte géotechnique et synthèse des investigations géotechniques

Carte géologique

D'après la carte géologique 1/50 000e de la Ferté-Saint-Auban (planche n°398), et les sondages issus du dossier du sous-sol (BSS) établis par le brgm, les formations géologiques rencontrées au droit du secteur d'étude sont les suivantes :

- Alluvions modernes Fz : matériaux siliceux : Sables, graviers et galets ;
- Alluvions holocènes Fy : Sables et cailloutis siliceux, limons des ruisseaux ;
- Formation de Beauce - g3-Aquitain : Marne Calcaire.



Lithologie et Essais d'identification

2 essais d'identification GTR ont réalisées lors de la mission géotechnique en 2014 par FUGRO, dans le fusible de Jargeau qui est constitué de **sable +/- silteux (Sols de classe B5)**.

Ces essais sont confirmés par les investigations du CEREMA.

Tableau 11 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire réalisé par le CEREMA dans le fusible – Secteur Jargeau

Sondage	Profondeur (m)	Nature du sol	Passant à 80 µm (%)	Passant à 2 mm (%)	Valeur de Bleu (g bleu/100g sol)	Classification GTR
ST1	0,20-1,05	Sable limoneux	16,0	92,3	0,71	B5
ST2	0,10-1,30	Sable limoneux	15,1	98,4	0,50	B5
	1,30-1,45	Sable limoneux	8,7	90,9	0,35	B2
ST3	0,20-1,45	Sable limoneux	22,6	94,1	0,86	B5
ST4	0,20-1,95	Sable limoneux	17,0	98,0	0,53	B5
ST5	0,20-2,00	Sable limoneux	16,4	95,4	0,59	B5
ST6	0,20-1,90	Sable limoneux	16,1	97,2	0,58	B5
ST7	0,25-1,00	Sable limoneux	22,2	89,8	0,77	B5
	1,00-2,00	Sable limoneux	18,8	89,3	0,72	B5
ST8	0,10-1,30	Sable limoneux	14,8	90,2	0,58	B5
	1,30-1,80	Sable limoneux	21,0	95,5	0,69	B5
ST9	0,20-2,00	Sable limoneux	20,0	98,1	0,70	B5
ST10	0,20-1,90	Sable limoneux	19,1	92,0	0,72	B5

Essais au pénétromètre dynamique

Les sondages pénétrométriques coté Loire et Val ne présentent pas les mêmes résultats, les pics de résistance ne se situant pas aux mêmes profondeurs. Pour autant, le CEREMA a pu distinguer 3 couches de résistances croissantes avec la profondeur de 0,6 à 0,7 m d'épaisseur.

Tableau 12 : Caractéristiques pénétrométriques retenues par le CEREMA pour les matériaux constitutifs du fusible – Secteur Jargeau

Lithologie	Profondeurs (m)	Epaisseurs (m)	Résistance de pointe q_d (MPa)
Sable limoneux marron	0,00-0,60	0,60	$0 < q_d < 5$
	0,60-1,30	0,70	$0 < q_d < 15$ côté Loire $0 < q_d < 20$ côté val
	1,30-2,00	0,70	$5 < q_d < 25$

Essais d'érosion

Les essais d'érosion ont été réalisés au niveau des profils 3 et 7, de 0 à 37 cm de profondeur.

Les résultats de ces essais sont présentés sur les figures ci-après.

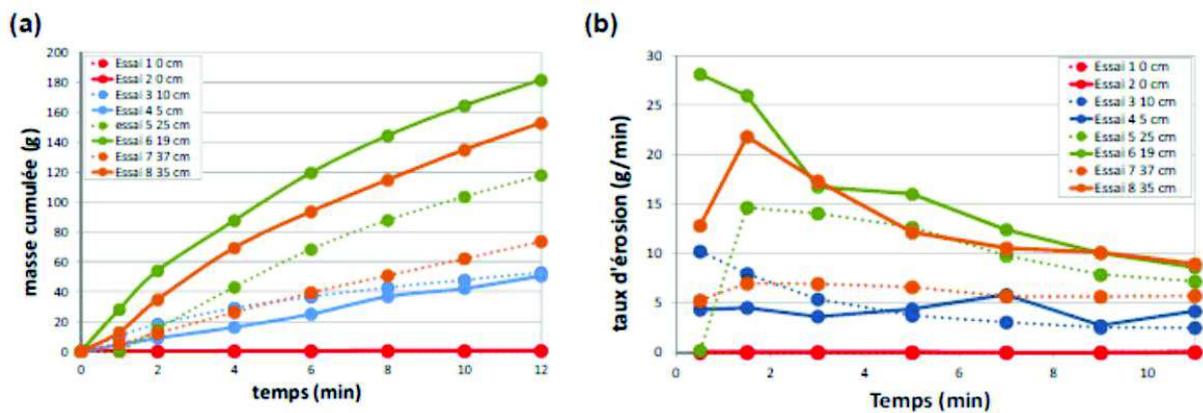


Figure 22 : Masse érodée cumulée (a) et taux moyen d'érosion (b) en fonction du temps – Profil 3 (CEREMA)

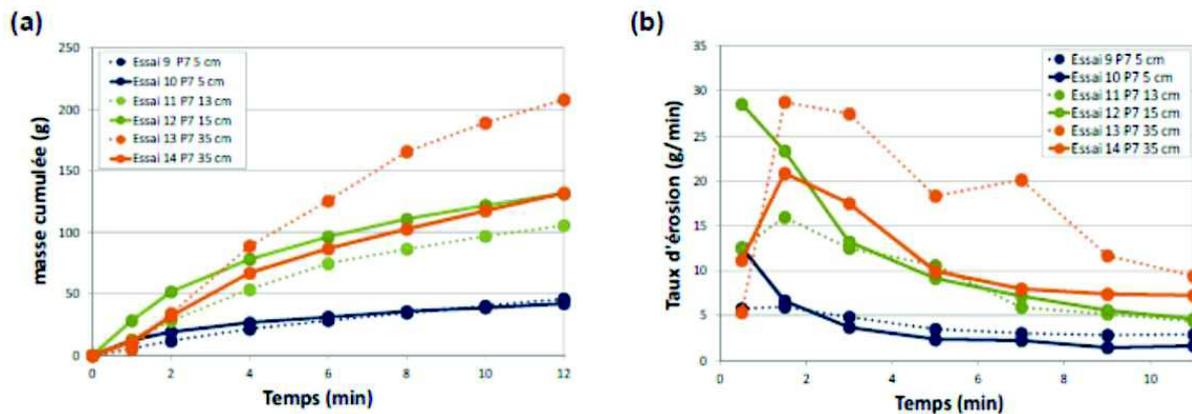


Figure 23 : Masse érodée cumulée (a) et taux moyen d'érosion (b) en fonction du temps – Profil 7 (CEREMA)

Nous notons une augmentation de l'érodabilité du fusible avec la profondeur. Ces essais permettent de mettre en avant l'apport de stabilité à l'érosion externe apporté par le système racinaire de l'enherbement.

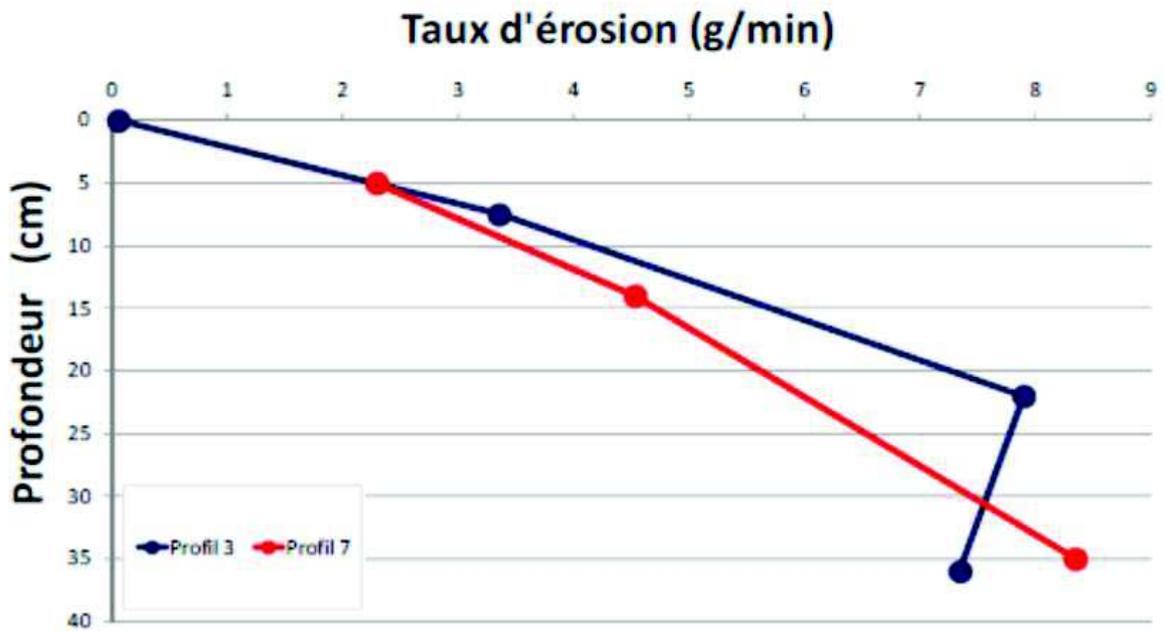


Figure 24 : Evolution du taux d'érosion en fonction de la profondeur – Profil 7 (CEREMA)

3.2.1.3. Sigloy

3.2.1.3.1. Présentation des études géotechniques réalisées jusqu'au stade actuel

Parmi les données d'entrée fournies, de nombreux rapports traitent des digues de cette commune. Cependant toutes ne se situent pas au droit de la zone du projet. La carte ci-dessous localise les différents secteurs étudiés et la zone étude du présent projet sur la commune de Sigloy.

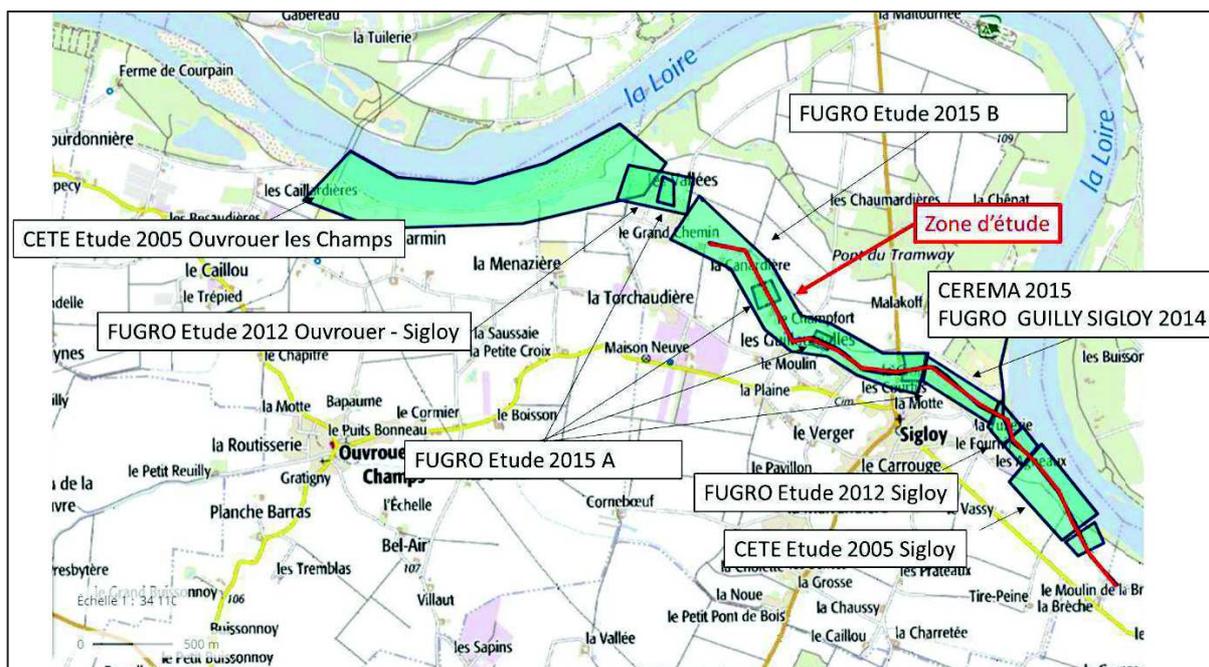


Figure 25 : Localisation des secteurs d'étude à Sigloy et linéaire de la zone d'étude

On constate qu'au droit de la zone du projet, plusieurs études de sol ont été réalisées. Ces dernières ainsi que les investigations qui y ont été réalisés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Synthèse des données géotechniques à disposition – Secteur Sigloy

BE	Document	site	caractéristique de la zone d'étude	sondages géotechniques réalisés	quantité	essais in situ	essais en laboratoire	avis sur le document et les données géotechniques de la zone
CETE Etude 2005 Sigloy	Commune de Sigloy (45) Levées de la Loire rive gauche 2005	SIGLOY	L'étude qui s'étend sur un linéaire de 300 à 400 mètres concerne une zone en contact direct avec le lit mineur de la Loire, donc soumise à une érosion du pied de la levée.	sondages tarières	7	2 essais de perméabilité dans les terrains d'assise et dans le corps de digue	6 essais de cisaillement triaxial.	La nature des essais réalisés permet de bien définir les caractéristiques des sols en place du point de vue Géotechnique. Cette étude est réalisée sur une partie du linéaire de notre projet. Cependant, Les annexes étant manquantes, la qualité des essais n'a pu être évaluée. Un rapprochement auprès du CEREMA sera nécessaire pour récupérer les bordereaux des essais.
				sondages destructifs	3			
				sondages carottés	2			
				piézomètres	3			
				sondages pénétrométriques	8			
FUGRO Etude 2012 Sigloy	FUGRO Etude 2012 SIGLOY	SIGLOY	Etude sur environ 80 mètres de long	pénétromètre statique	1	3 essais de perméabilité dans les terrains d'assise et dans le corps de digue	10 GTR	Le site étudié se trouve sur notre zone d'étude. Vu le linéaire étudié et la finalité de l'étude les sondages sont suffisants de même que la caractérisation des sols.
				sondages tarières	2			
				sondages carottés	1			
FUGRO Etude 2015 A	Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45)	SIGLOY	plusieurs sites étudiés	Sondages tarières ou pelles	9	-	11 GTR	Les sondages sont de faibles profondeurs. Les investigations sont réparties sur plusieurs sites à des endroits spécifiques.
CEREMA 2015	LEVEES DU VAL D'ORLEANS (45) Investigations géotechniques complémentaires	SIGLOY	plusieurs sites étudiés	sondages carottés	2	2 essais de perméabilité dans les terrains d'assise et dans le corps de digue	5 GTR	le site appartient au secteur du projet. Il s'agit d'un petit linéaire avec une densité de sondages correcte de même que leur nature.
				sondages destructifs	2		1 triaxial 1 cisaillement	
				sondages perméafor	2			
FUGRO 2014	GUILLY SIGLOY 2014	SIGLOY	Sur Sigloy, le linéaire étudié est d'environ 360 mètres.	pénétromètre statique	4			le site appartient au secteur du projet. Les pénétromètres atteignent pour certain une profondeur de 8/20 m (soit de corps de digue et le substratum)
FUGRO 2015 B	Partie 1 : SIGLOY (45)	SIGLOY	entre Sigloy et le lieu-dit « le grand Chemin »	sondages carottés	5			Le site se trouve sur la zone d'étude . Les sondages carottés permettent d'avoir les horizons profonds (15-17 m de profondeur)
FUGRO2 015 B	SIGLOY (45) 2016	SIGLOY	entre Sigloy et le lieu-dit « le grand Chemin »	pénétromètre statique	16			Le site se trouve sur la zone d'étude . Les sondages atteignent des profondeurs variables (6-15m de profondeur)

Une quantité élevée de sondages a été réalisée le long du tracé. Cependant, en analysant plus précisément le type de sondage et leur localisation, on constate que certaines données sont manquantes sur un linéaire défini. En particulier entre Sigloy et le lieu-dit « le grand Chemin » (cf. figure suivantes) où les investigations sont majoritairement des pénétromètres statiques (16) et des carottés (5). Aucun essai GTR, triaxial ou de perméabilité n'est présent dans les différents rapports.

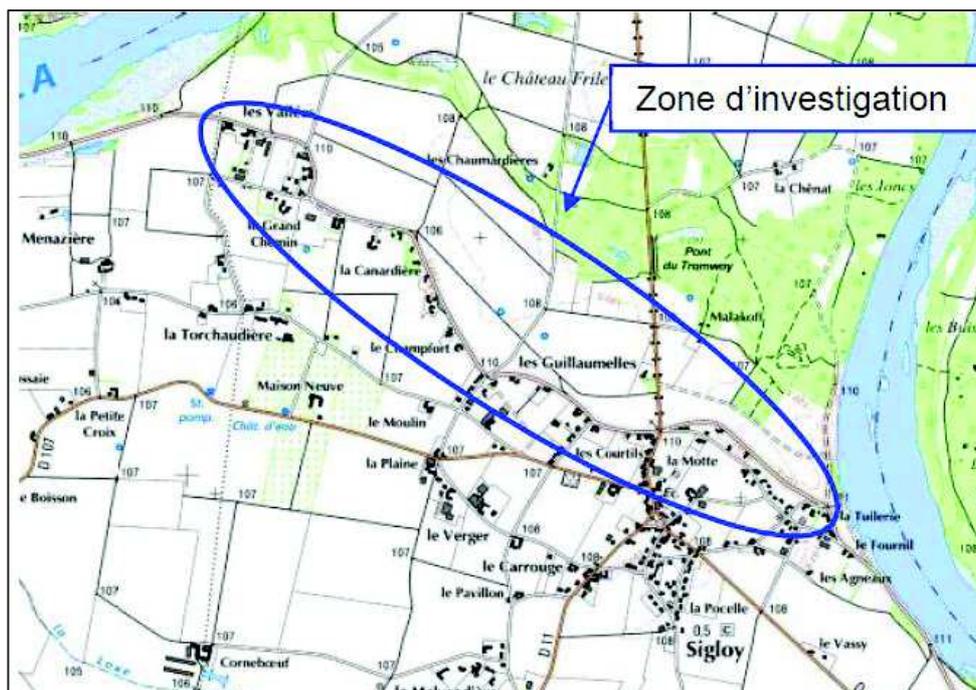


Figure 26 : zone d'étude avec des données géotechniques manquantes entre Sigloy et le lieu-dit « le grand Chemin »
(source rapport Fugro : SIGLOY (45) 2016)

Nota : L'étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A, révèle qu'en 2013, aucun sondage n'a été réalisé sur la zone du présent projet à Sigloy. Seules des mesures géophysiques ont été réalisées.

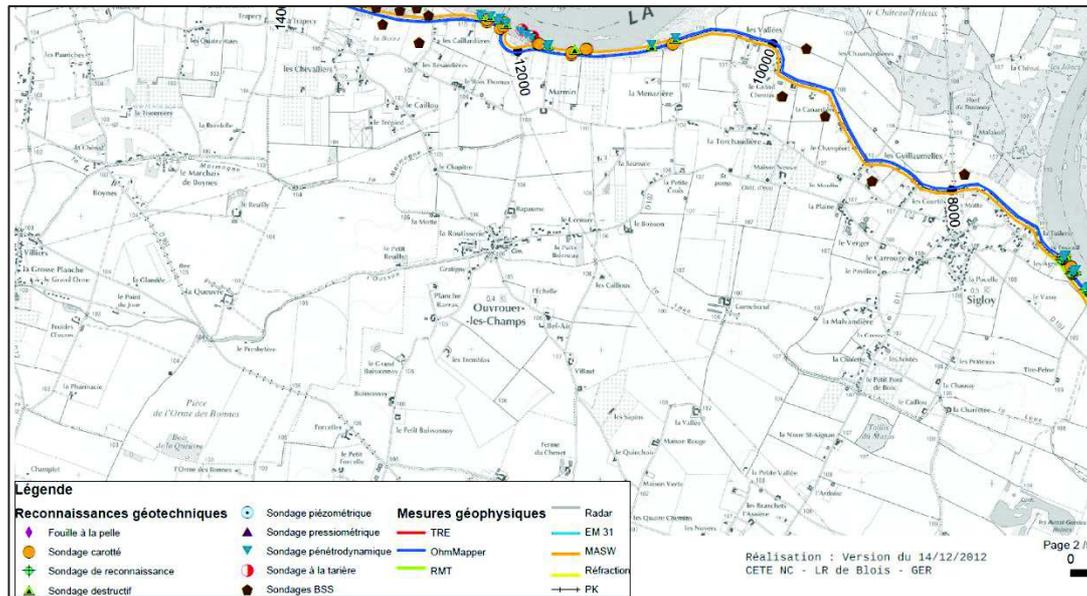


Figure 27 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à Sigloy (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A)

3.2.1.3.2. Contexte géotechnique et synthèse des investigations géotechniques

Carte géologique

D'après la carte géologique 1/50 000e de Châteauneuf sur Loire (planche n°399), et les sondages issus du dossier du sous-sol (BSS) établis par le BRGM, les formations géologiques rencontrées au droit du secteur d'étude sont les suivantes :

- Alluvions modernes Fz : matériaux siliceux : Sables, graviers et galets ;
- Alluvions holocènes Fy : Sables et cailloutis siliceux, limons des ruisseaux ;
- Substratum : Argile verte.

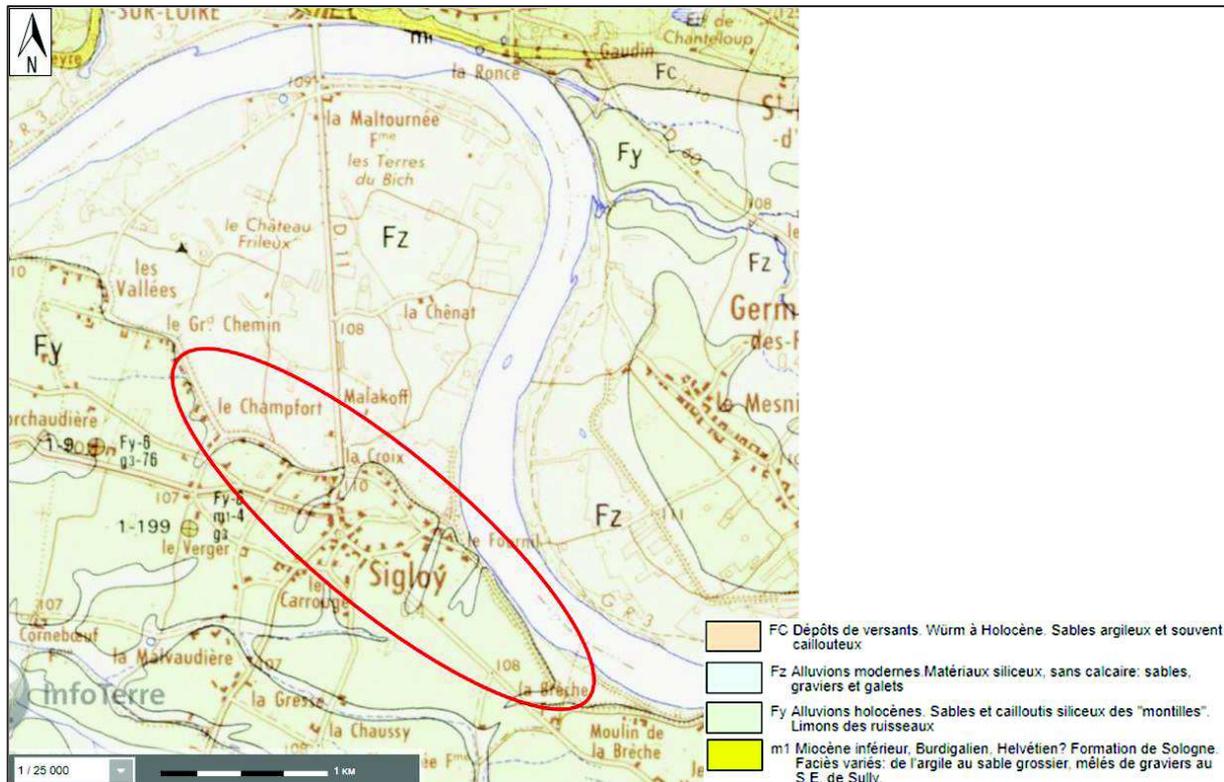


Figure 28 : Carte géologique du secteur de Sigloy au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr)

Lithologie

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante :

- **Sols de couverture** : enrobé puis remblais correspondant à un limon argilo-sableux d'une épaisseur totale moyenne de 0,8 m ;
- **Corps de digue** : formation sablo-silteuse ou argilo-silteuse à silt sableux ;
- **Terrains d'assise** : formation argilo-silteuse à formation silto-sableuse, ou sablo-graveleuse ;
- **Substratum** : Argile verte rencontrée après une dizaine de mètres de profondeur/TN, correspondant soit à une épaisseur résiduelle de Sables et argile de Sologne soit aux Marnes de l'Orléanais.
- Un essai d'identification a été réalisé sur les **matériaux de renforcement** du corps de digue côté Val qui sont de nature sableuse à graves.

Il est à noter qu'aucun sondage ou essai n'a été réalisé sur les matériaux des banquettes situées côté Loire.

Essais en laboratoire et caractéristiques mécaniques des sols

- Corps de digue

Essais d'identification GTR

Au total 17 essais d'identification dont 14 GTR ont été réalisées dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015 et en 2012 et 2015 par FUGRO, et en 2005 par CETE, sur les matériaux du corps de digue :

Tableau 14 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Sigloy

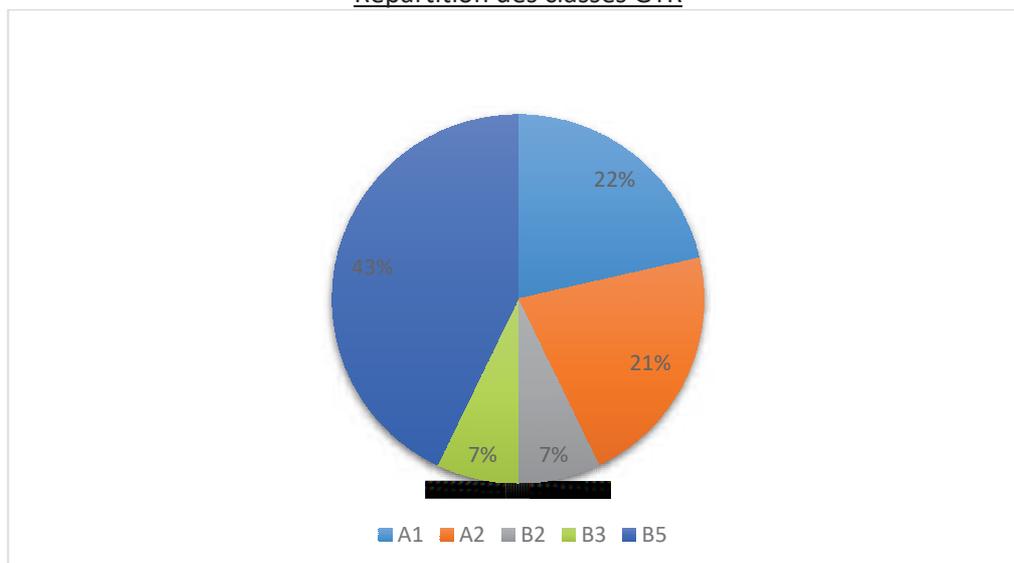
	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ρ_h	ρ_σ	
Nombre d'essais	15,0	15,0	17,0			17,0
Min	0,2	28,0	8,6	-	-	4,6
Max	3,6	45,0	23,0	-	-	25,9
Moyenne	1,2	35,0	14,3	-		16,5
Classes GTR	A1/A2/B2/B3/B5					

**absence de classe GTR, et absence des données des courbes granulométriques, ne permettant pas ainsi de faire la classification GTR*

Ces classes correspondent à :

- **A1** : Silts alluvionnaires (Sols fins) ;
- **A2** : Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes ;
- **B2** : Sables argileux (Sols sableux et graveleux avec fines) ;
- **B3** : Graves silteuses (Sols sableux et graveleux avec fines) ;
- **B5** : Sables et graves très silteux (Sols sableux et graveleux avec fines) ;

Répartition des classes GTR



Sur la base des essais d'identification GTR, les matériaux du corps de digue sont constitués en proportion moyenne de 60% de sols à faciès sableux et graveleux avec fines (classe GTR B) et 40% de sols fins (classe GTR A).

Les matériaux de renforcement côté val sont de faciès sableux à graveleux silteux (classe B3 sur le seul essai GTR réalisé).

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

2 essais de cisaillement rectiligne type CD ont été réalisés dans le cadre de la mission menée par CETE en 2005 :

Tableau 15 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Sigloy

BET	Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
	Sondage	Nature	$\gamma_h(KN/m^3)$	$C'(kPa)$	$\varphi'(^{\circ})$
CETE Etude 2005	SC21	Limon brun	18	20	22,2*
	SC31	Limon brun	21	16	29,2

* Au regard de la nature du matériau, la valeur de l'angle de frottement nous semble anormalement faible. En l'absence du bordereau d'essai, il nous est impossible de juger de la pertinence de ce résultat.

Essais au pénétromètre dynamique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont moyennes à bonnes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 2 et 7 MPa.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité in situ type Nasberg, et des mesures de perméabilité ont été effectuées au Perméafor, ou en laboratoire sur les matériaux du corps de digue. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité.

Tableau 16 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Sigloy

BET	Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
CETE Etude 2005	SC31	Argile brune légèrement sableuse	4,50E-07
FUGRO 2012	SC5 (Nasberg)	Silt argileux	4,20E-08
		Silt argileux	2,60E-07
	SC5 (en laboratoire)	Silt argileux	2,40E-10
CEREMA 2015	SD8 (Nasberg)	Limon	2,30E-08
	SD8 (Perméafor)		$\leq 1,3E-06$
	SD9 (Nasberg)	Limon argileux	7,60E-09
	SD9 (Perméafor)	Limon argileux	1,0E-06 à 2,5E-06
		Limon argilo-sableux	$\leq 1,3E-06$
	PK 8 (Perméafor)	Argile à limon	$\leq 1,0E-06$ à 1,0E-05
SC8 (en laboratoire)	Limon	2,80E-09	

- Terrains d'assise

Essais d'identification GTR

Au total 14 essais d'identification dont 12 GTR ont été réalisées dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA 2015 et en 2012 par FUGRO, et en 2005 par CETE, sur les terrains d'assise :

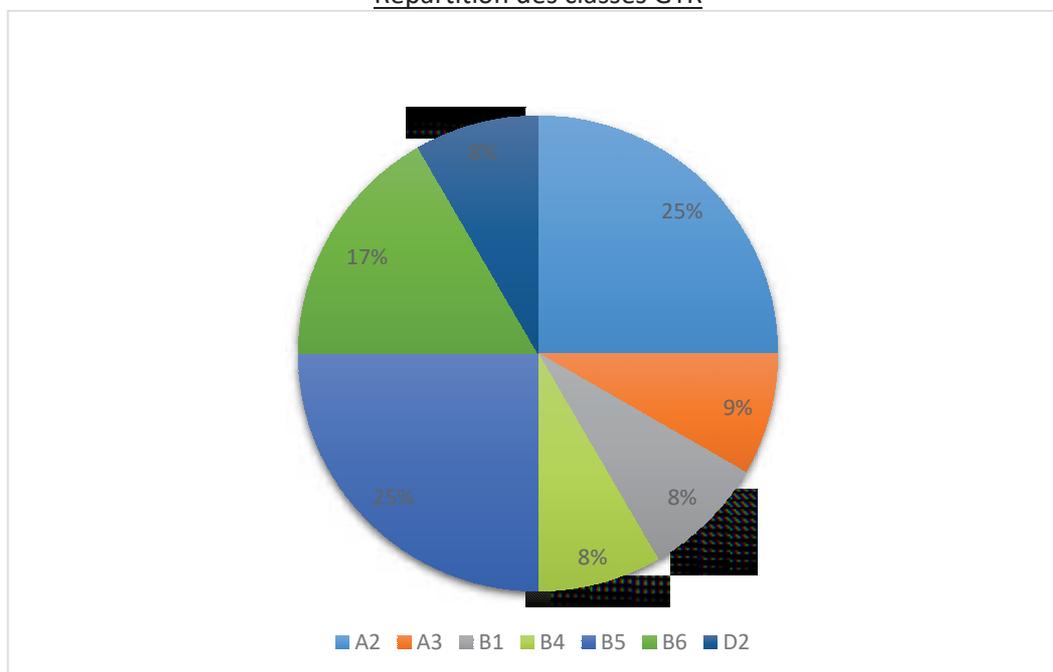
Tableau 17 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy

	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ρ_h	ρ_σ	
Nombre d'essais	13,0	12,0	13,0	-	-	14,0
Min	0,1	33,0	14,7	-	-	7,0
Max	2,5	41,0	16,0	-	-	27,0
Moyenne	1,0	37,0	15,2	-	-	18,3
Classes GTR	A2/A3/B1/B4/B5/B6/D2					

S'ajoutent les classes GTR suivantes :

- **A3** : Argiles (Sols fins).
- **B1** : Sables silteux ;
- **B4** : Graves argileuses (peu argileuses) ;
- **B6** : Sables et graves, argileux à très argileux ;
- **D2** : Graves alluvionnaires propres, sables (Sols insensibles à l'eau).

Répartition des classes GTR



Sur la base des essais d'identification GTR, les matériaux du corps de digue sont constitués en portion moyenne de 2/3 de sols à faciès sableux et graveleux avec fines (classe GTR B) et 1/3 de sols fins (classe GTR A), avec des traces de graves alluvionnaires propres.

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

2 essais de cisaillement rectiligne type CD (CETE 2005) et 3 essais triaxiaux (CEREMA 2015) ont été réalisés dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA en 2015 et par CETE en 2005. Les données Ccu et φ_{cu} (cas essai triaxial) ne sont pas disponibles dans les documents transmis :

Tableau 18 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy

BET	Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
	Sondage	Nature	$\gamma_h(KN/m^3)$	$C'(kPa)$	$\varphi'(^{\circ})$
CETE 2005	SC21	Sable limoneux	19	14	33
	SC31	Argile brune	19	20	28
CEREMA 2015	SC9	Argile limoneuse noire	-	0*-16	21-29
		Sable limoneux	-	0	37
		Argile	-	0*-14	23-33

Essais au pénétromètre dynamique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont moyennes à bonnes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 10 et 30 MPa. Des valeurs faibles ponctuelles ont été enregistrées au droit de certains sondages.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité in situ type Nasberg, et des mesures de perméabilité ont été effectuées au Perméafor, ou en laboratoire sur les terrains d'assise. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité.

Tableau 19 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Sigloy

BET	Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
CETE 2005	SC31	Sable grossier	1,70E-05
FUGRO 2012	SC5 (Nasberg)	Argile silteuse	3,10E-08
	SC5 (en laboratoire)	Argile silteuse	8,60E-10
CEREMA 2015	PK 9 (Perméafor)	Limon argileux à argile sableuse	$\leq 1,0E-06$
		Sable à grave sableuse	1,0E-04 à 2,0E-03
	SC9 (en laboratoire)	Limon argilo-sableux	5,30E-11

Substratum : Argile verte

Essais d'identification GTR

Au total 2 essais d'identification ont été réalisés sur cet horizon, mais les données n'ont pas permis de classer ces matériaux selon la classification GTR :

Tableau 20 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Sigloy

BETE	Référence sondage	VBS	Limites d'Atterberg		W (%)
			WL (%)	Ip	
CETE Etude 2005	SC21*	-		25,1	41
	SC31*			52,5	46,1

Essais au pénétromètre dynamique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont bonnes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) atteignant 20 à 60 MPa.

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

Au total 2 essais de cisaillement rectiligne type CD (CETE 2005) et 1 essai triaxial (CEREMA 2015) ont permis de caractériser cet horizon. Les données C_{cu} et ϕ_{cu} ne sont pas disponibles dans les documents transmis :

Tableau 21 : Synthèse des essais mécanique en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Sigloy

BET	Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
	Sondage	Nature	$\gamma_h (KN/m^3)$	$C' (kPa)$	$\phi' (^\circ)$
CETE 2005	SC21	Argile verte	18	37*	20
	SC31	Argile verte	18	15	13
CEREMA 2015	SC9	Argile	-	0- 32	9-19

Niveaux d'eau

Des niveaux ont été recensés au droit des sondages carottés et lors des forages pour la réalisation des essais de perméabilité in-situ. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Synthèse des niveaux d'eau relevés en forage – Secteur Sigloy

Sondages	Horizon	Date	Cote /Tête de sondage (m NGF)	Profondeur du niveau d'eau en fin de forage (m/Tête de forage)	Niveau d'eau (m NGF)
PK8	Sable et argile	19/11/2014	110,08	6,50	103,58
PK9	Argile limoneuse	18/11/2014	110,76	5,45	105,31
SC8	Sable très fin	08/09/2014	109,91	6,70	103,21
SC9	Sable limoneux	10/09/2014	110,86	6,10	104,76

Pour rappel, les sondages carottés ont été réalisés avec injection d'eau. Les niveaux d'eau observés au droit de ces sondages correspondent à des niveaux d'eau non stabilisés, pouvant être perturbés par l'apport d'eau pour la réalisation des forages.

Modèle géotechnique

Tableau 23 : Modèle géotechnique – Secteur Sigloy

Formation	Faciès	GTR	$\gamma_h(\text{KN/m}^3)$	$C'(\text{kPa})$	$\phi' (^{\circ})$	K
Corps de digue	Sable +/- silteux	A1/A2/B2/B3/B5	19	5	30	5,00E-05
	Argile +/- silteuse ou sableuse		19	10	25	5,00E-06
	Sableux		19	0	34	5,00E-04
Terrains d'assise	Sable +/- silteux	A2/A3/B1/B4/B5/B6/D2	19	5	30	5,00E-05
	Argile +/- silteuse ou sableuse		19	10	25	5,00E-06
	Sableux		19	0	34	5,00E-04
Substratum	Argile verte	-	18	30	20	-

3.2.1.4. Guilly

3.2.1.4.1. Présentation des études géotechniques réalisées jusqu'au stade actuel

Parmi les données d'entrée, des rapports traitent de la digue de cette commune. Cependant seuls deux d'entre eux se situent au droit ou en limite de notre zone d'étude. La carte ci-dessous révèle les différents secteurs étudiés et la zone d'étude du présent projet sur la commune de Guilly.

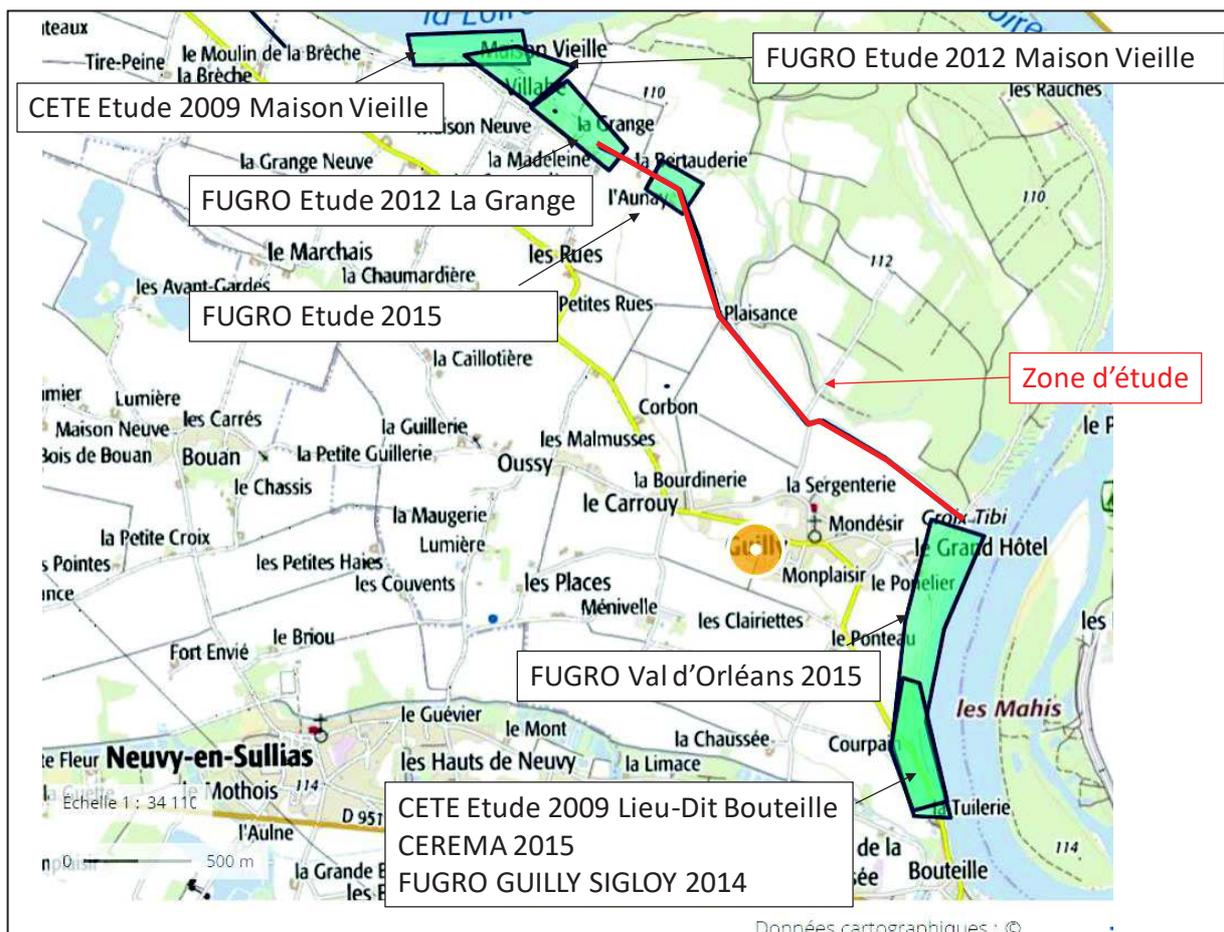


Figure 29 : Localisation des secteurs d'étude à Guilly et linéaire de la zone d'étude

Au droit de la zone du projet, deux études de sol ont été réalisées. Ces dernières ainsi que les investigations qui y ont été faites sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 24 : Synthèse des données géotechniques disponibles – Secteur Guilly

BE	Document	site	caractéristique de la zone d'étude	sondages géotechniques réalisés	quantité	essais in situ	essais en laboratoire	avis sur le document et les données géotechniques de la zone
FUGRO	FUGRO Etude 2012 La Grange	GUILLY	Le linéaire étudié est d'environ 120 mètres	pénétromètre statique	2	6 essais de perméabilité dans les terrains d'assise et dans le corps de digue	16 GTR	Sur les 120 m de digue étudiés, il y a une bonne densité de sondages et de caractérisations des sols en place . L'étude réalisée est en limite de la zone de digue définie pour notre étude
				sondages tarières	3			
				sondages carottés	2			
FUGRO	Guilly (45) Sigloy (45) Jargeau (45) Sandillon (45) St Denis en Val (45)	Guilly (45)	plusieurs sites	Sondages tarières	2	-	2 GTR	Les sondages sont de faibles profondeurs. Les investigations sont réparties sur plusieurs sites à des endroits spécifiques.

Bien que l'on ait quelques résultats d'investigations, un linéaire important de notre zone d'étude n'est pas caractérisé.



Figure 30 : Localisation du secteur sur lequel les investigations géotechniques sont manquantes

Ce manque de donnée du sol est également visible dans l'Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A, où l'on constate dans l'annexe E qu'aucun sondage n'a été réalisé sur la zone du projet. *Seules des mesures géophysiques ont été réalisées.*

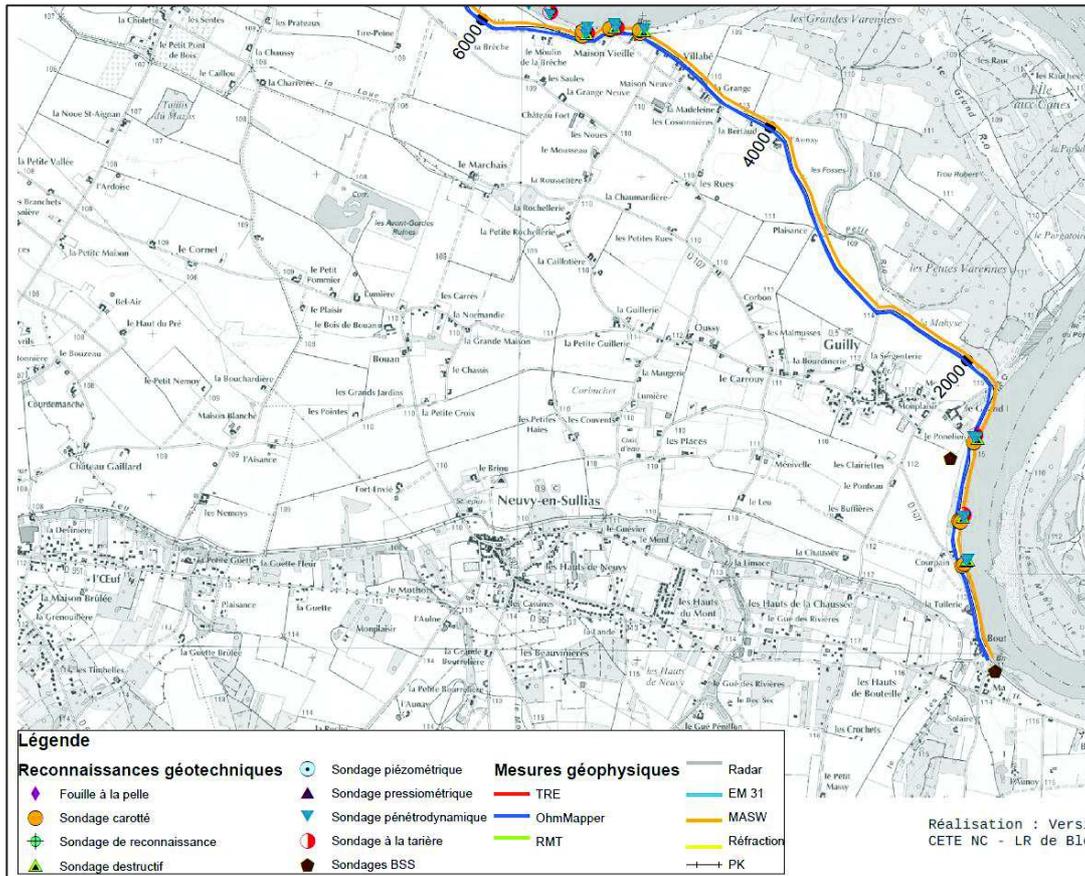


Figure 31 : Localisation des données géotechniques et géophysiques à Guilly (source : Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A)

3.2.1.4.2. Contexte géotechnique et synthèse des investigations géotechniques

Carte géologique

D'après la carte géologique 1/50 000e de Châteauneuf sur Loire (planche n°399), et les sondages issus du dossier du sous-sol (BSS) établis par le brgm, les formations géologiques rencontrées au droit du secteur d'étude sont les suivantes :

- Alluvions modernes Fz : matériaux siliceux : Sables, graviers et galets ;
- Alluvions holocènes Fy : Sables et cailloutis siliceux, limons des ruisseaux ;
- Substratum : Argile verte.

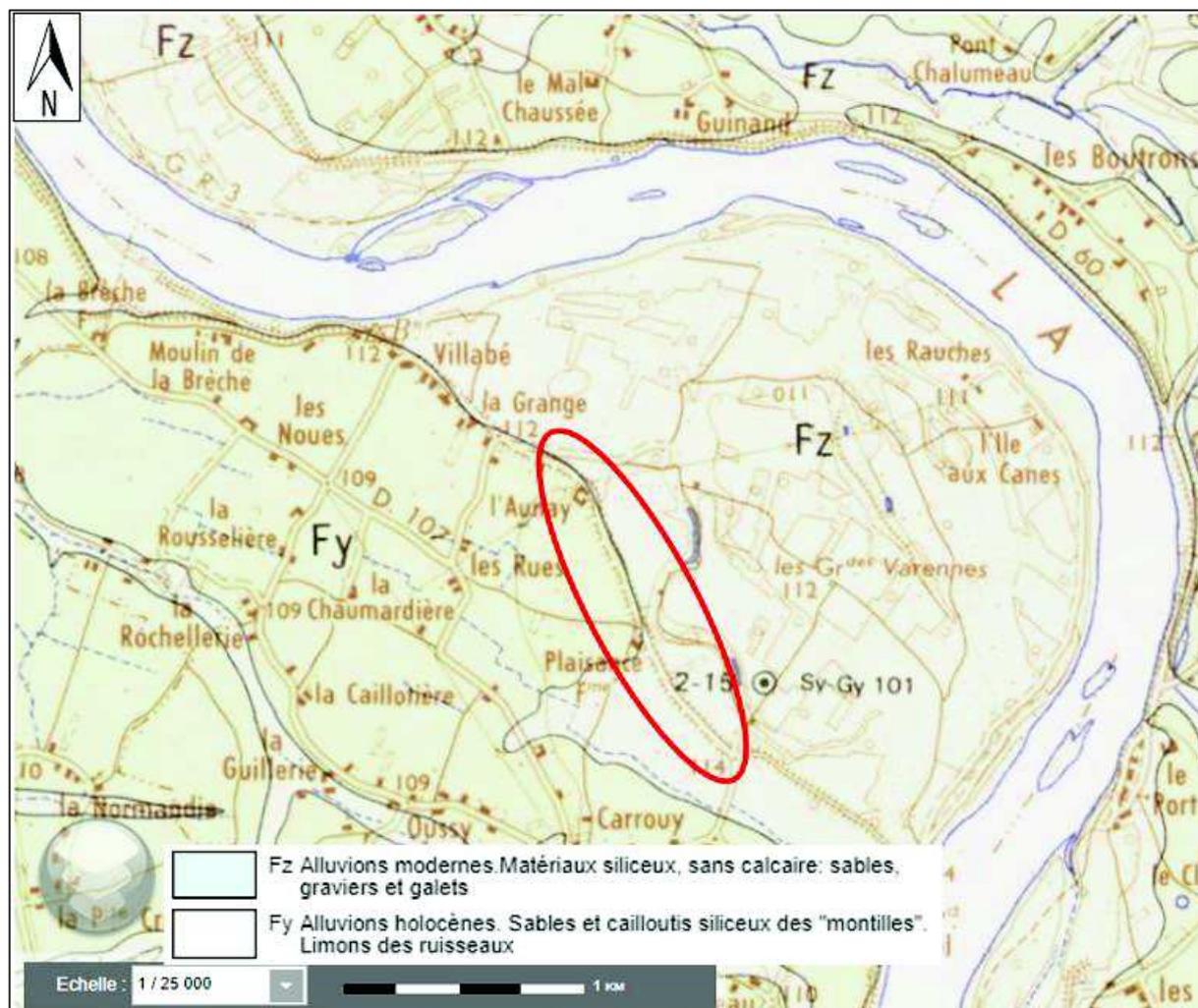


Figure 32 : Carte géologique du secteur de Guilly au 1/50 000 (Source : infoterre.brgm.fr)

Lithologie

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante :

- **Sols de couverture** : enrobé et remblais de nature sableuse à graveleuse d'une épaisseur totale moyenne de 0,5/0,7m ;
- **Corps de digue** : formation silt/sable argileux ou argile silteuse ;
- **Terrains d'assise** : formation argilo-silteuse à formation silto-sableuse, ou sablo-graveleuse ou encore argileuse ;
- **Substratum** : Argile verte rencontrée après une dizaine de mètres de profondeur/TN, correspondant soit à une épaisseur résiduelle de Sables et argile de Sologne soit aux Marnes de l'Orléanais.
- 2 essais d'identification ont été réalisés sur les **matériaux de renforcement** du corps de digue **côté Val** qui sont de nature sableuse à graveleuses.

Il est à noter qu'aucun sondage ou essai n'a été réalisé sur les matériaux des banquettes situées côté Loire.

Essais en laboratoire et caractéristiques mécaniques des sols

- Corps de digue

Essais d'identification GTR

Au total 7 séries d'identification GTR/ 12 essais, ont été réalisés sur le linéaire concerné par le présent projet (au lieu-dit « La Grange »).

Ces essais ont été effectués dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques en 2012 et 2015 par FUGRO, sur les matériaux du corps de digue :

Tableau 25 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans le corps de digue – Secteur Guilly

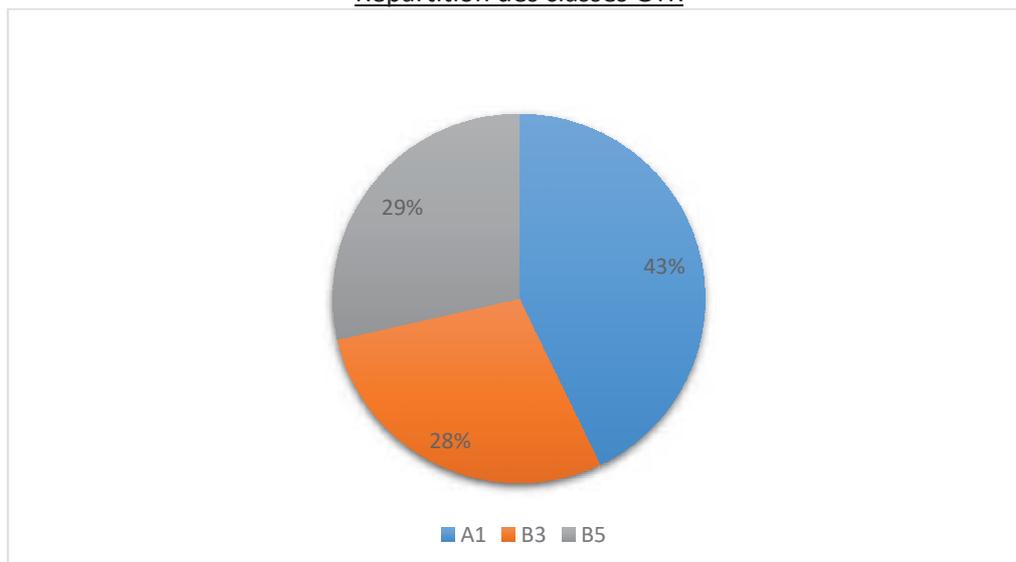
	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ρ_h	ρ_σ	
Nombre d'essais	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Min	0,1	25,0	10,0	20,5	17,7	4,6
Max	1,4	28,0	12,0	20,5	17,7	28,0
Moyenne	0,7	26,5	11,0	20,5	17,7	14,9
Classes GTR	A1/B3/B5					

**absence de classe GTR, et absence des données des courbes granulométriques, ne permettant pas ainsi de faire la classification GTR*

Ces classes correspondent à :

- **A1** : Silts alluvionnaires (Sols fins) ;
- **B3** : Graves silteuses (Sols sableux et graveleux avec fines) ;
- **B5** : Sables et graves très silteux (Sols sableux et graveleux avec fines).

Répartition des classes GTR



Sur la base des essais d'identification GTR, les matériaux du corps de digue sont constitués en portion de 2/3 de formation à faciès limoneux/silteux alluvionnaires, ... (classe GTR A1), et 1/3 de formation à faciès sableux et graveleux avec fines.

Les matériaux de renforcement côté val sont de faciès sableux à graveleux (classe B3 sur les 2 essais GTR réalisés).

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

Aucun essai de caractérisation n'a été réalisé sur les matériaux du corps de digue

Essais au pénétromètre dynamique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont faibles à moyennes avec des valeurs de résistance à la pointe (qd) comprises entre 0,2 et 5 MPa.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité in situ type Nasberg, et des mesures de perméabilité ont été effectuées en laboratoire sur les matériaux du corps de digue. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité.

Tableau 26 : Synthèse des essais de perméabilité dans le corps de digue – Secteur Guilly

BET	Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
FUGRO 2012	SC1 (Nasberg)	Silt argileux	3,00E-06
	SC2 (Nasberg)	Argile silteuse	3,90E-08
	SC2 (en laboratoire)	Silt sablonneux	3,00E-10

- Terrains d'assise

Essais d'identification GTR

Au total 17 séries d'identification GTR/ 20 essais, dont 10 GTR ont été réalisés sur le linéaire concerné par le présent projet (au lieu-dit « La Grange ») et 7 GTR sur un linéaire aval situé à plus de 900 m de celui du présent projet (au niveau de « rue vieux port »).

Tableau 27 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Guilly

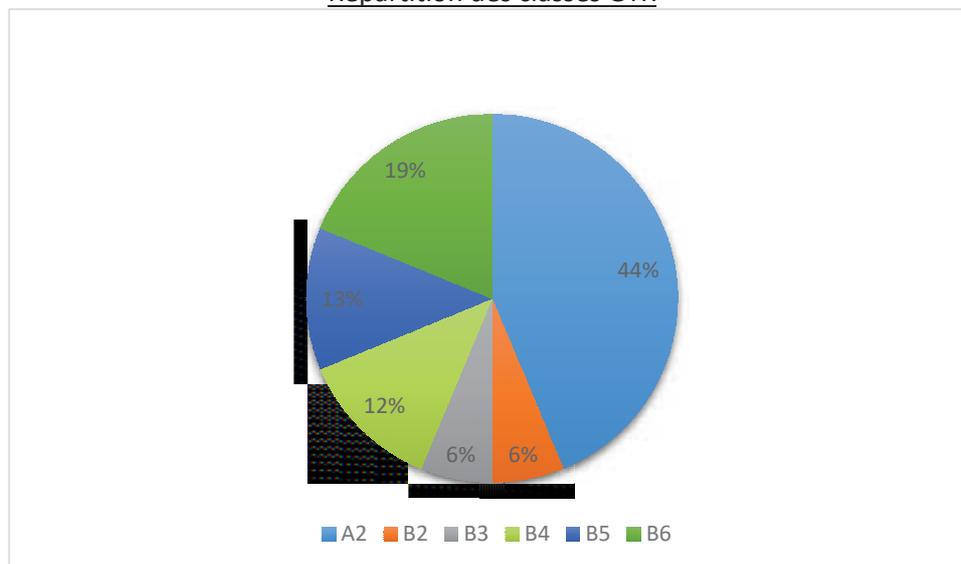
BET	Référence sondage	VBS	WL	Ip	ph	$\rho\sigma$	W (%)
FUGRO 2012	ST1	-	-	-	-	-	18,9
		3,8	-	-	-	-	27
	ST2	-	46	24	-	-	19,4
		2,1	-	-	-	-	18,7
	ST3	1,6	-	-	-	-	13,2
		-	-	-	-	-	14,9
	SC1	1	-	-	-	-	14,2
		-	-	-	-	-	14
	SC2	-	36	20	19,5	16	20,3
		-	33	15	21,4	18,1	18,2
	SC2	0,3	-	-	-	-	11
		3,5	-	-	-	-	24,1
CEREMA 2015	SC10	0,6	-	-	16,7	15,2	9,8
		0,2	-	-	-	-	-
		-	37	16	-	-	-
	SC11	-	1,16	-	-	-	-
		0,07	-	-	-	-	-
		-	40	18	-	-	-
0,13	-	-	-	-	-		
2,98	-	-	-	-	-		

	VBS	Limites d'Atterberg		Densité		W (%)
		WL (%)	Ip	ph	$\rho\sigma$	
Nombre d'essais	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,0
Min	0,1	1,2	15,0	16,7	15,2	9,8
Max	3,8	46,0	24,0	21,4	18,1	27,0
Moyenne	1,5	32,2	18,6	19,2	16,4	17,2
Classes GTR	A2/B2/B3/B4/B5/B6/D2					

S'ajoutent les classes suivantes :

- **A2** : Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes ;
- **B2** : Sables argileux (Sols sableux et graveleux avec fines) ;
- **B4** : Graves argileuses (peu argileuses) ;
- **B6** : Sables et graves, argileux à très argileux ;
- **D2** : Graves alluvionnaires propres, sables (Sols insensibles à l'eau).

Répartition des classes GTR



Sur la base des essais d'identification GTR, les terrains d'assise sont constitués en portion moyenne de 2/3 de formation à faciès sableux et graveleux avec fines (classe GTR B), et 1/3 de formation à faciès sablo-argileux, limoneux ou argileux (classe GTR : A2).

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

1 cisaillement rectiligne et 1 essai triaxial ont été réalisés dans le cadre de la mission d'investigations géotechniques complémentaires par le CEREMA en 2015 (sur les terrains d'assis du linéaire aval situé à plus de 900 m de celui du présent projet, au niveau de « rue vieux port »). Les données Ccu et φ_{cu} (cas essai triaxial) ne sont pas disponibles dans les documents transmis :

Tableau 28 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans les terrains d'assise – Secteur Guilly

BET	Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
	Sondage	Nature	$\gamma_h(KN/m^3)$	$C'(kPa)$	$\varphi'(^{\circ})$
CEREMA 2015	SC10**	Limon sableux	-	9	23
	SC10	Sable limoneux	-	0	36

** essai de cisaillement rectiligne

() essai triaxial

Essais au pénétromètre statique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont moyennes à bonnes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 10 et 50 MPa.

Essais de perméabilité

Des essais de perméabilité in situ type Nasberg, et des mesures de perméabilité ont été effectuées au Perméafor, ou en laboratoire sur les terrains d'assise. Le tableau suivant synthétise les données des essais de perméabilité.

Tableau 29 : Synthèse des essais de perméabilité dans les terrains d'assise – Secteur Guilly

BET	Références sondage	Description lithologique	Coefficient de perméabilité K (m/s)
FUGRO 2012	SC1 (Nasberg)	Sable argileux	7,20E-09
		Sable graveleux	6,00E-05
	SC1 (en laboratoire)	Argile	2,00E-10
	SC2 (Nasberg)	Argile silto-sableuse	2,40E-08
		Sable à sable graveleux	1,60E-05
FUGRO 2015	SD10 (Nasberg)	Argile limoneuse	2,70E-08
	SD10 (Perméafor)		≤ 1,3e-06
	SD11 (Perméafor)	Argile limoneuse	≤ 1,3e-06
	SC 11 (en laboratoire)	Argile limoneuse	1,90E-11

Substratum : Argile verte

Essais d'identification GTR

Au total 2 essais d'identification ont été réalisés sur cet horizon, mais les données n'ont pas permis de classer ces matériaux selon la classification GTR :

Tableau 30 : Synthèse des essais d'identification en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Guilly

BET	Référence sondage	VBS	Limites d'Atterberg		W (%)
			WL (%)	Ip	
CETE Etude 2005	SC21*	-		25,1	41
	SC31*			52,5	46,1

Essais au pénétromètre statique

Les caractéristiques mécaniques de cette formation sont moyennes avec des valeurs de résistance à la pointe (q_c) comprises entre 2 et 3 MPa. Les investigations ont été réalisées à la profondeur de 11,5/12 m par rapport à la plateforme.

Essai triaxial et de cisaillement rectiligne

Au total 1 essai triaxial a permis de caractériser cet horizon. Les données C_{cu} et ϕ_{cu} ne sont pas disponibles dans les documents transmis :

Tableau 31 : Synthèse des essais mécaniques en laboratoire dans l'argile verte – Secteur Guilly

BET	Échantillon - description en laboratoire		Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif
	Sondage	Nature	$\gamma_h(KN/m^3)$	$C'(kPa)$	$\phi'(^{\circ})$
CEREMA 2015	SC11	Argile	-	36	16

Niveaux d'eau

Des niveaux ont été recensés au droit des sondages carottés et lors des forages pour la réalisation des essais de perméabilité in-situ. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Synthèse des niveaux d'eau mesurés en forage – Secteur Guilly

BET	Sondages	Horizon	Date	Cote /Tête de sondage (m NGF)	Profondeur du niveau d'eau en fin de forage (m/Tête de forage)	Niveau d'eau (m NGF)
FUGRO 2012	SC1	Sable argileux	16/02/2012	112,30	6,60	105,70
	SC2	Sable grossier	20/02/2012	112,00	6,50	105,50
CEREMA 2015	PK10	Limon	20/11/2014	114,84	5,70	109,14
	PK11	Limon argileux	20/11/2014	114,93	5,70	109,23

Pour rappel, les sondages carottés ont été réalisés avec injection d'eau. Les niveaux d'eau observés au droit de ces sondages correspondent à des niveaux d'eau non stabilisés, pouvant être perturbés par l'apport d'eau pour la réalisation des forages.

Modèle géotechnique

Tableau 33 : Modèle géotechnique – Secteur Guilly

Formation	Faciès	GTR	γ_h (KN/m ³)	C'(kPa)	ϕ' (°)	K (m/s)
Corps de digue	Sable +/- silteux	A1/B3/B5	20	5	30	5,00E-05
	Argile +/- silteuse ou sableuse		20	10	25	5,00E-06
	Sableux		19	0	34	5,00E-04
Terrains d'assise	Sable +/- silteux	A2/B2/B3/B4/B5/B6/D2	20	5	30	5,00E-05
	Argile +/- silteuse ou sableuse		20	10	25	5,00E-06
	Grave +/- sableuse		19	0	34	5,00E-04
Substratum	Argile verte	-	20	15	20	-

3.3. Contexte topographique

3.3.1. Analyse des données disponibles

Cette partie permet d'identifier les données disponibles au droit des secteurs à étudier. Certaines zones ne présentent des données topographiques endommagées. Les éventuelles investigations topographiques supplémentaires nécessaires seront précisées et plus ciblées lorsque les linéaires et les travaux d'aménagement seront mieux cadrés pour la phase PRO.

A l'échelle globale du val, nous disposons d'un MNT datant de 2002 fourni par la DREAL présentant quelques anomalies.

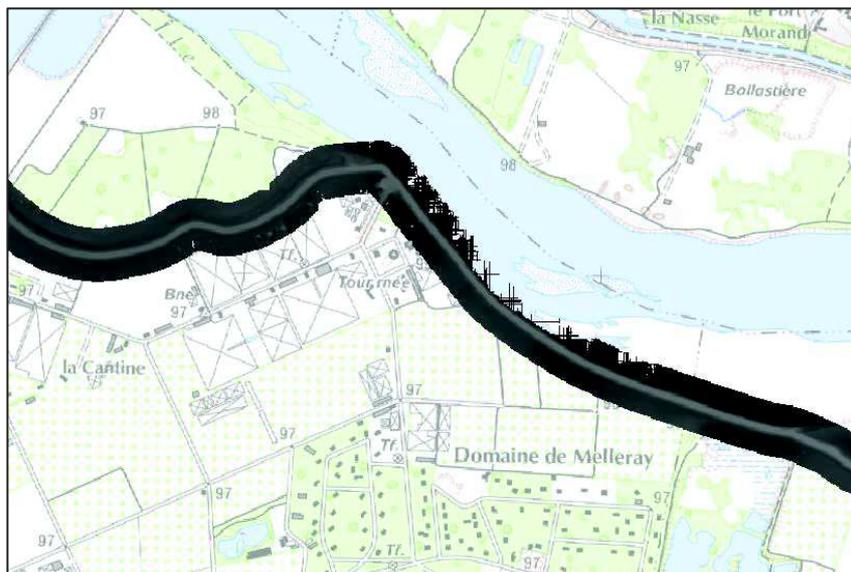


Figure 33 : Exemple d'anomalie (proximité d'une surface en eau) dans le MNT de 2002

Au delà des MNT, nous disposons également de divers plans, notamment établis dans le cadre de travaux de renforcement par écrans étanches.

3.3.1.1. Saint Denis en Val

Nous disposons du plan de recollement d'avril 2019 concernant la mise en place d'écrans étanches sur St Denis en Val.

3.3.1.2. Jargeau

Nous disposons du plan topographique d'octobre 2005 et de novembre 2010 du déversoir de Jargeau.

3.3.1.3. Sigloy

Nous disposons du plan de recollement de mai 2019 concernant la mise en place d'écrans étanches sur Sigloy.

3.3.1.4. Guilly

Nous disposons du plan de recollement de mars 2019 concernant la mise en place d'écrans étanches sur Guilly.

4. Description et historique des ouvrages

4.1. Digue à Saint-Denis-en-Val

Le secteur étudié se situe entre les PK 30 à 34, sur la commune de Saint-Denis-en-Val.

L'ouvrage se compose d'une digue en terre avec une banquette coté Loire. Une chaussée en enrobée est présente en crête, correspondant à la Rue de la Levée.

Les caractéristiques géométriques de la digue sur ce secteur sont présentées ci-après :

- Hauteur de la digue (depuis le pied de digue coté val jusqu'en crête) : 3 à 4 m
- Hauteur de la banquette : 0,3 à 0,7 m
- Largeur de la crête de digue : 9 à 10 m
- Pente du talus coté Val : 3/1 à 1,5/1
- Pente du talus coté Loire : 2,5/1



Figure 34 : Vue du secteur Saint-Denis-en-Val du 22/01/2022 – Source : Antea Group

La DDT45 fait remarquer qu'un linéaire important de banquette est susceptible d'être pourvu de perré.

La synthèse des DT est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 34. Synthèse DT – Opération 2 – Secteur Saint-Denis-en-Val

Concessionnaire	Description/nature	Position	Nombre
Enedis	HT aérien	Traversant	2
GRDF	Gaz - En attente de réponse		
Orléans Métropole	Eclairage - En attente de réponse		

RTE	HT aérien	Traversant	1
Suez	En dehors de l'emprise travaux		
Veolia	En dehors de l'emprise travaux		

4.2. Digue fusible de Jargeau

La digue fusible de Jargeau est longue d'environ 800 m, et se situe entre les PK 14,7 et PK 15,5.

Ce déversoir, construit entre 1878 et 1882, est de type maçonné et doté d'un fusible en terre (1,75m de hauteur). Ce dernier est dimensionné par rapport au niveau de la crue de 1825 mais n'assure plus son rôle aujourd'hui car d'autres zones sont susceptibles de surverser avant qu'il n'entre en fonctionnement.

De plus, d'après l'étude de dangers, « Les lignes d'eau en crue ont beaucoup changé depuis, du fait de l'évolution morphologique du lit de la Loire - conséquence des ouvrages de navigation (épis, duits, chevrettes, barrant un bras, etc.) et de l'extraction massive de matériaux en deuxième partie du XX^e siècle. De fait, le fonctionnement normal du déversoir de Jargeau débiterait désormais pour un débit d'environ 7 500 m³/s au droit de celui-ci, alors que les premières surverses au-dessus de la levée d'Orléans apparaissent en amont du val aux alentours de 6 000 m³/s. » Ces éléments sont issus de l'étude de dangers et donc des modélisations 1D réalisées à partir du modèle « LM10 ».

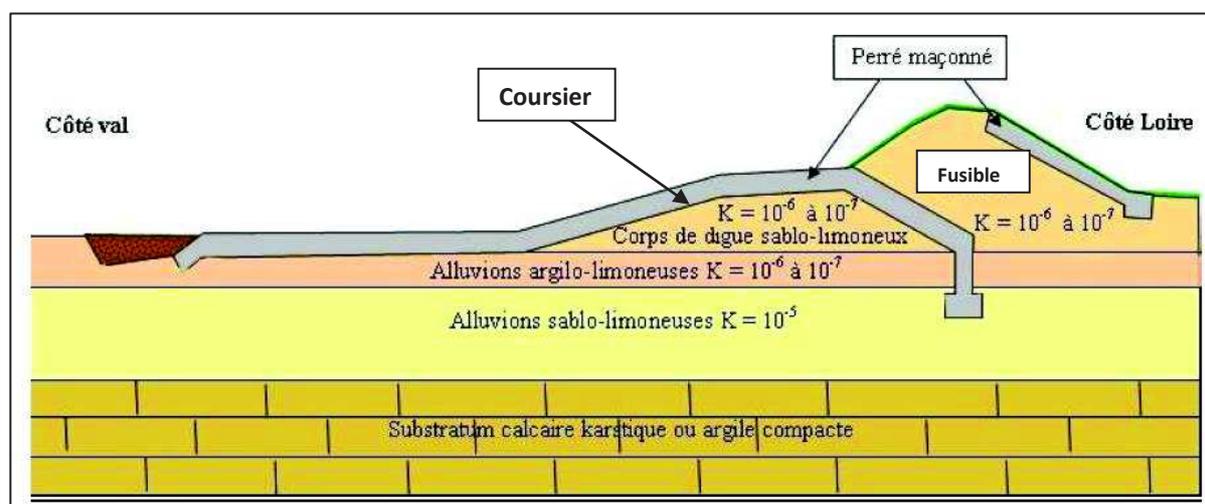


Figure 35 : Profil en travers du déversoir de Jargeau (source : EDD de la levée d'Orléans)

Le fusible s'apparente à une rehausse en terre qui, une fois atteinte par les hautes eaux lors d'une crue, s'efface par phénomène d'érosion. Son fonctionnement permet ainsi de dévier une partie des eaux mais aussi d'abaisser la ligne d'eau en aval de l'ouvrage.

Le coursier à l'aval du déversoir dirige les écoulements. Il est protégé par un perré maçonné pour minimiser l'affouillement et l'érosion côté val lors du fonctionnement du déversoir.

La digue fusible de Jargeau s'étend des PK 14,7 à 15,5, sur un linéaire de 730 m.

Ces caractéristiques sont rappelées ci-après :

- Hauteur du fusible : 0,6 à 1,6 m

- Largeur de la crête du fusible : 0,7 à 1,3 m
- Pente du talus du fusible coté Val : 3/1 à 2/1
- Pente du talus du fusible coté Loire : 2,5/1 à 2/1

Le perré coté Loire n'est pas visible car enterré sous 10 cm de terre végétale.



Figure 36 : Perré en partie haute de la rehausse (FUGRO Géotechnique, 05/02/2015)

Une canalisation d'alimentation en eau chemine sur le fusible. Quelques aménagements sont également présents en crête : barrières, escaliers, panneaux, ...





Figure 37 : Vue du déversoir, présence de réseau en crête et marche et garde-corps métallique – photo du 22/01/2022
(Source : Antea Group)

La synthèse des DT est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 35. Synthèse DT – Opération 3 – Secteur Jargeau

Concessionnaire	Description/nature	Position	Nombre
ISI ELEC	Non concerné		
Mairie de Jargeau	Non concerné		
SEVAMOL	Non concerné		

4.3. Sigloy

Le secteur étudié se situe entre les PK 5,9 à 8,25, sur la commune de Sigloy.

L'ouvrage se compose d'une digue en terre avec une banquette coté Loire. Une chaussée en enrobée est présente en crête, correspondant à la Rue de la Levée.

Les caractéristiques géométriques de la digue sur ce secteur sont présentées ci-après :

- Hauteur de la digue (depuis le pied de digue coté val jusqu'en crête) : 2,3 à 5,0 m ;
- Hauteur de la banquette coté Loire : 0,3 à 0,7 m ;
- Largeur de la crête de digue : 9 à 13 m ;
- Pente du talus coté Val : 4/1 à 2,5/1 ;
- Pente du talus coté Loire : 3/1 à 2/1.

Des panneaux et barrières sont présents le long la levée de ce secteur Sigloy



Figure 38 : Barrières et panneaux identifiés sur la levée au niveau de la commune de Sigloy – photo du 22/01/2022
(Source : Antea Group)

Plusieurs habitations encastrées dans la digue sont présentes coté Val.

La DDT45 fait remarquer qu'un linéaire important de banquette est susceptible d'être pourvu de perré.

La synthèse des DT est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 36. Synthèse DT – Opération 6 – Secteur Sigloy

Concessionnaire	Description/nature	Position	Nombre
Enedis	HT aérien	Traversant	1
	BT torsadé	Traversant	1
	Bt torsadé	Longitudinal (coté Val)	1
Orange	Telecom – Conduite allégée	Traversant	1
	Telecom – Artère aérienne	Longitudinal (coté Val)	1
SFR	En dehors de l'emprise travaux		

4.4. Guilly

Le secteur étudié se situe entre les PK 2,8 à 4,4, sur la commune de Guilly.

L'ouvrage se compose d'une digue en terre avec deux banquettes (coté Loire et coté Val). Une chaussée en enrobée est présente en crête, correspondant à la Rue de la Levée.

Les caractéristiques géométriques de la digue sur ce secteur sont présentées ci-après :

- Hauteur de la digue (depuis le pied de digue coté val jusqu'en crête) : 2,4 à 3,2 m ;
- Hauteur de la banquette coté Val : 0,4 à 0,6 m ;
- Hauteur de la banquette coté Loire : 0,0 à 0,4 m ;
- Largeur de la crête de digue : 10 à 12 m ;
- Pente du talus coté Val : 4/1 ;
- Pente du talus coté Loire : 3/1 à 2,5/1.

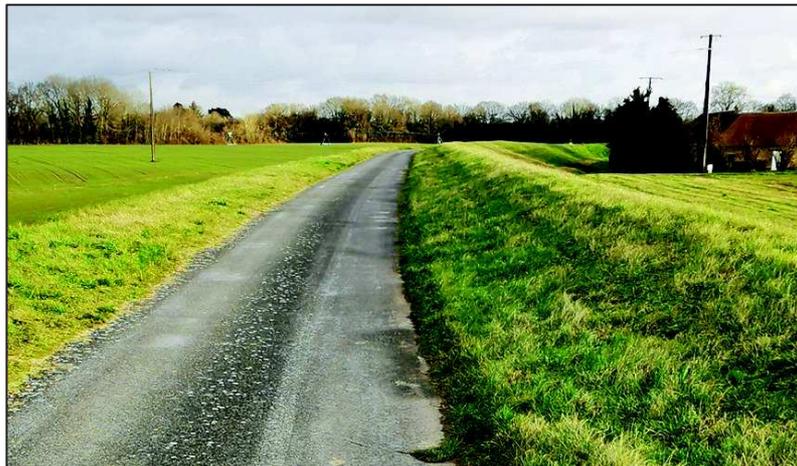


Figure 39 : Vue du système d'endiguement au niveau du secteur Guilly - photo du 20/01/2022 – source : Antea Group

Lors des visites de site, des canalisations EP traversant les banquettes côté val ont été identifiées. Ces canalisations servent à évacuer les eaux de la voirie vers le val.



Figure 40 : Illustration de canalisations transversant la banquette côté Val sur le secteur Guilly-photo du 22/01/2021
(Source : Antea Group)

Aucun bâtiment encastéré n'est recensé sur le talus côté val.

La DDT45 fait remarquer qu'un linéaire important de banquette est susceptible d'être pourvu de perré.

La synthèse des DT est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 37. Synthèse DT – Opération 6 – Secteur Guilly

Concessionnaire	Description/nature	Position	Nombre
Enedis	HT aérien	Traversant	1
	HT aérien	Longitudinal	1
	BT torsadé	Longitudinal	1
Mairie de Guilly	En attente de correction – Plan non correspondant à la zone ciblée		
Orange	Non concerné		

4.5. Historique des désordres, travaux et études sur le val d'Orléans

4.5.1. Historique des désordres majeurs subis

Le système d'endiguement du val d'Orléans n'a connu aucun événement exceptionnel causant de dégâts importants tel que des brèches depuis 1866. La crue de 1907 fut exceptionnelle (en deçà des débits des 3 grandes crues du XIX^{ème} siècle) sans toutefois causer de brèche. Quelques ouvertures de fontis karstiques ont été observées sur la levée d'Orléans entre 2002 et 2010, des fontis plus récents ont été observés et réparés. Il est mentionné dans nos documents que seule la crue de 2003 (3240m³/s à Orléans) a atteint les digues depuis 1907.

Cependant, d'après les annexes 18 et 19 de l'EDD de la levée d'Orléans réalisée par la DREAL Centre en 2011, de nombreuses brèches sont apparues au cours de l'histoire lors des grandes crues :

- Brèche dite du « Fer à Cheval » (à cause de sa forme) à Ouvrouer-les-Champs. L'hypothèse avancée dans l'EDD est qu'elle serait apparue suite à un tassement de la levée d'origine karstique en 1846.
- Au niveau de Sigloy, la digue a cédé de nombreuses fois. Des brèches sont mentionnées en 1846 (2 brèches d'une centaine de mètres), en 1856 (deux brèches également dont une d'une centaine de mètre et l'autre entre 400 et 550m), et en 1866 (une brèche de plus de 300m et une plus petite d'une cinquantaine de mètres).
- Au niveau du lieu-dit Les Caillardières à Ouvrouer-les-Champs, deux brèches ont eu lieu : une en 1846 et une autre en 1866.
- A Jargeau, on signale des brèches en 1755 (115m), 1790 (130m), 1846 (135m), 1856 (700m), et en 1866 (300m de long).
- A Sandillon, trois brèches sont recensées dans les documents d'archives. En 1755 (environ 200m), 1789 (200m également), 1790 et une dernière en 1846 d'environ 400 mètres de long.
- A Saint-Denis-en-Val, une autre brèche apparue en 1755 est rapportée comme faisant 300 m de long, ainsi qu'une autre de 250 mètres en 1866.
- Enfin à Orléans, une brèche est à noter en 1856 d'une centaine de mètres de long.

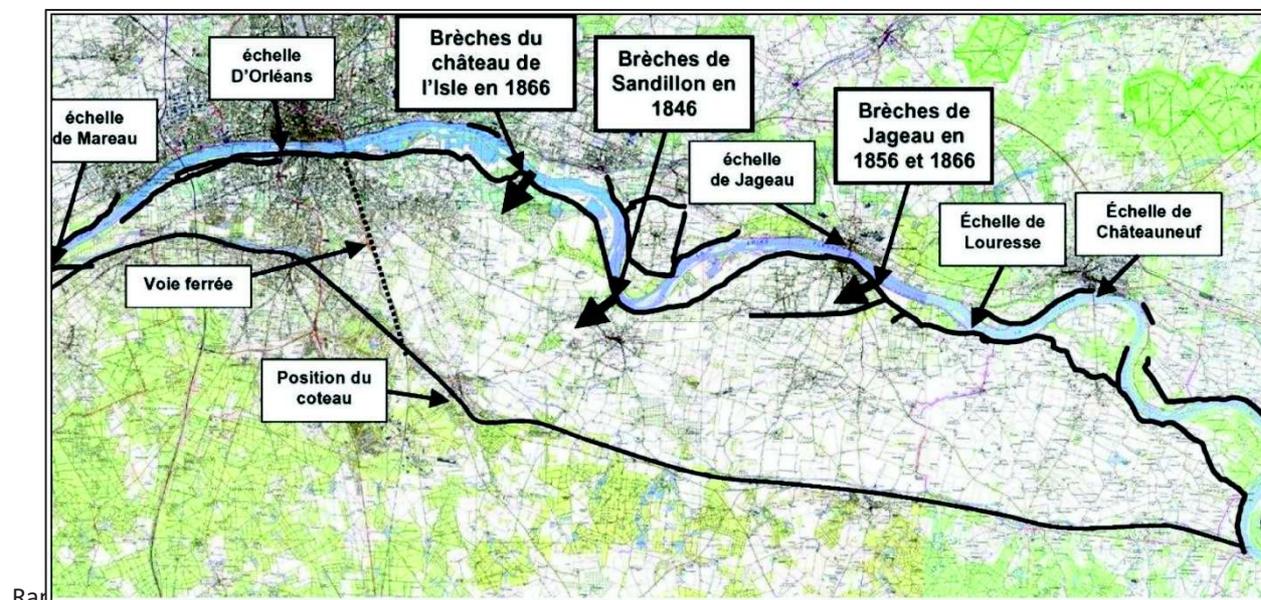


Figure 41 : Brèches lors des crues du XIX^e siècle (source : EDD de la levée d'Orléans)

Crue	Brèche	Revanche ligne d'eau / crête hors banquette	Longueur	Profondeur de la fosse d'érosion	
				moyenne	maximale
1846	Sandillon	- 0,20 m	400 m	-	5,00 m
1856	Jargeau	0,00 m	650 m	6,00 m	18,70 m
1866	Jargeau	0,20 m	250 m	6,30 m	8,65 m
1866	Château de l'Isle	0,25 m	300 m	6,80 m	11,15 m

Figure 42 : Brèches caractéristiques de la levée d'Orléans (source : EDD de la levée d'Orléans)

En conclusion de l'annexe 19 de l'EDD d'Orléans, il est mentionné que trois modes de ruptures ressortent parmi toutes les données d'archives disponibles :

- La surverse au niveau de la crête de digue. La banquette jouant un rôle souvent défavorable car elle augmente la capacité érosive de la lame d'eau en lui apportant une énergie plus forte lors de sa libération instantanée.
- Les érosions internes et les défauts de stabilité (hypothèses évoquées pour Sandillon en 1846).

La cause principale de rupture qui ressort reste tout de même le phénomène d'érosion par surverse.

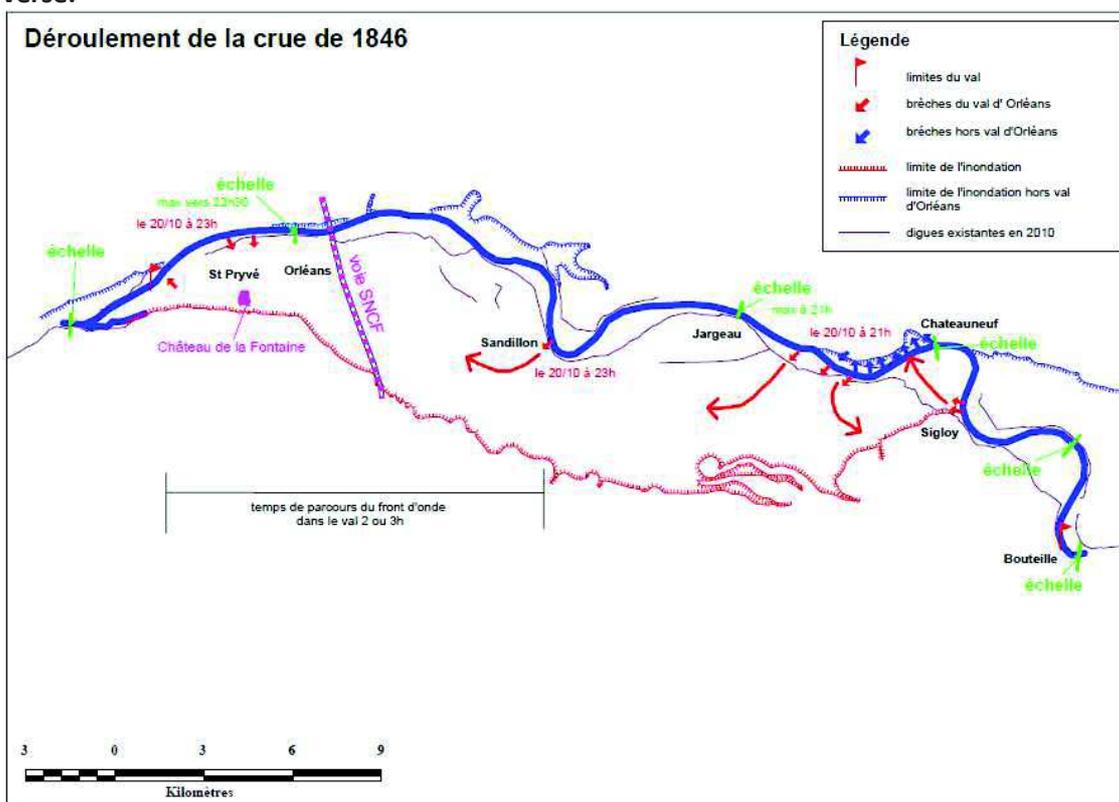


Figure 43 : Déroulement de la crue de 1846 (source : annexe 18 EDD de la levée d'Orléans)

Dans les années 80, des tests de renforcement par injections d'argile ont été réalisés, ponctuellement, sur les communes de Sandillon et de Saint-Denis-en-Val.

À la fin des années 90, des renforcements par palplanches ont été réalisés notamment sur Jargeau,

Dès 1994 avec le Plan Loire Grandeur Nature, les travaux se sont poursuivis avec en premier le renforcement des pieds de digues, suivis par différentes actions en corps de digues (majoritairement la mise en place de rideaux de palplanches sur plusieurs décennies avant de passer aux écrans étanches par mélange en place) ou encore des aménagements particuliers et plus ciblés (reconstruction du mur du Cordon à Jargeau).

Les travaux de 2013, dits expérimentaux, ont permis d'effectuer le recouvrement entre 2 zones de renforcement (souvent en raison de la présence d'une structure encastrée).

4.5.3. Etudes récentes

Dans l'ordre chronologique, les études récentes sont recensées ci-dessous :

- Etude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A – Décembre 2012 par la DREAL Centre,
- Etude concertée face au risque inondation dans les vals de l'orléanais ECRIVALS – Mai 2014 par BSL Ingénierie
- Projet Global de Fiabilisation de la levée du val d'Orléans – Octobre 2015 par la DREAL Centre.
- Modélisation de l'Orléanais, référencement des crues à l'échelle d'Orléans – Avril 2018 par le CEREMA,

Il est à noter que les préconisations de travaux de renforcement dans l'étude ECRIVALS (et donc dans le PGF) ont été dimensionnées à l'aide du modèle LM10 et non avec le modèle 2D du CEREMA. Ce dernier modèle présente une précision plus importante, notamment avec la prise en compte du fonctionnement du déversoir d'Ouzouer à l'amont de Jargeau. Les solutions sont donc à affiner dans le cadre de cette étude et des propositions différentes peuvent même être envisagées.

4.5.4. Opérations récentes

Les travaux de renforcement des corps de digue par mélange en place découlant des opération 1 et 2 du PGF ont été effectués entre 2017 et 2019. Lors de ces travaux, plusieurs canalisations traversantes dans la digue ont été traitées. Une opération spécifique a permis de traiter plusieurs canalisations réparties sur l'ensemble du linéaire de la digue (opération 4) et des travaux d'arasement de banquettes comprenant un reprofilage du talus côté val ont été également réalisés (cf. Figure 46).



Figure 46 : Travaux d'arasement des banquettes côté val par la DDT (Antea Group)

L'opération n°1 du PGF (partie amont du val) consistait à renforcer le corps de digue au niveau des communes de Guilly et Sigloy (cf. Figure 47) en installant un écran étanche. Elle consistait également à supprimer les banquettes côté val du hameau de Bouteille jusqu'à l'aval de Sigloy. Les coûts étaient estimés à 3 500 000€.



Figure 47 : Opération n°1 comprise entre les PK 0 et 10.32 (source : PGF de la levée d'Orléans fiches mise à jour en 2017 par la DREAL)

L'opération n°2 du PGF (partie aval du val) consistait elle aussi à renforcer le corps de digue (au niveau des communes de St Denis-en-Val et de St-Pryvé-St-Mesmin) avec l'installation d'un écran étanche, et de supprimer les banquettes côté val (au niveau de la Haute Île et du Château Lumina). Elle comprenait également les travaux pour fiabiliser la levée par rapport au risque de surverse.

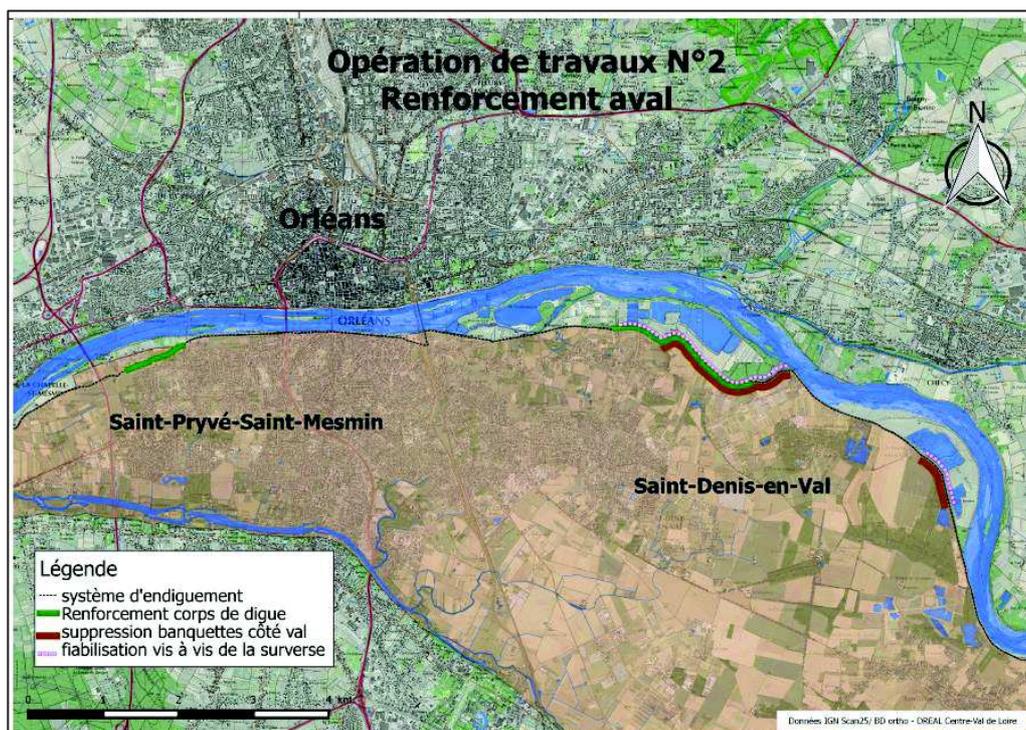


Figure 48 : Opération n°2 comprise entre les PK 26.7 et 40.48 (source : PGF de la levée d'Orléans fiches mise à jour en 2017 par la DREAL)

5. Programme de travaux

5.1. Détermination des cotes de crêtes des aménagements

La démarche pour dimensionner les linéaires et les cotes de crêtes des aménagements préconisés est la suivante (réalisée à partir des lignes d'eau de la T200 état aménagé de 2017-2018 du CEREMA, cf. partie 2.2 précédente) :

- Les linéaires de secteurs vulnérables à la surverse sont définis par une marge entre le niveau d'eau T200 en état aménagé et la crête de digue (point Z4 de Cardigue) inférieure ou égale à 50cm. Ce linéaire et la reprise des tronçons de digue seront à affiner/optimiser par la suite selon les cotes actuelles.
- Abaissement du fusible de Jargeau : T200 état aménagé « 2018 » – 20cm,
- Rehausse des secteurs de Sigloy et Saint Denis-en-Val à la cote : T200 état aménagé « 2018 » + 70cm (ce qui correspond environ à la cote des banquettes),
- Fiabilisation du talus côté val à la surverse au niveau des points bas, sur le secteur de Guilly au niveau T200 état aménagé « 2018 » + 20cm (ce qui correspond environ à la cote des points les plus bas).

A noter que les 20cm de « marge » sur la ligne d'eau de la T200 état aménagé « 2018 » permettent de prendre en compte les incertitudes de modélisation mais également de dépasser la résistance à l'érodabilité des surfaces enherbées pour le déversoir de Jargeau.

Une attention particulière est à porter sur la caractérisation du niveau de protection du val d'Orléans. Compte tenu du fonctionnement du déversoir (déverse + effacement du fusible) de Jargeau pour la T200, le niveau de protection doit être inférieur soit pour une T100 ou T170, la zone protégée devant être définie de « pieds secs ». Le déversoir commence à déverser entre T170 et T200, la banquette fusible s'efface pour la T200.

A noter que la crue de 1825 était la crue de dimensionnement initiale du déversoir de Jargeau.

Crue	T200	
	Actuel*	Aménagé
Hauteur d'eau (m NGF)	97,07	96,75

*en état actuel sans prise en compte du risque de brèche

Tableau 38: Hauteurs d'eau à l'échelle d'Orléans associées à une crue T200 (source : rapport CEREMA Janvier 2018)

5.2. Description sommaire des solutions de confortement par typologie et contraintes associées

Le programme des opérations de fiabilisation prévoit donc :

- La fiabilisation et l'uniformisation altimétrique des banquettes coté Loire sur le secteur de Saint-Denis-en-Val (Opération 2) ;
- L'abaissement de la banquette fusible du déversoir de Jargeau de 60 cm (ligne d'eau T200-20 cm (Opération 3)) ;
- La fiabilisation et l'uniformisation altimétrique des banquettes coté Loire sur les secteurs de Sigloy (Opération 6) ;
- La fiabilisation à la surverse de la digue sur le secteur de Guilly sur 750 m et fiabilisation et uniformisation altimétrique de la banquette coté Loire en aval (Opération 6).

L'altimétrie visée par le programme de travaux proposé au stade AVP est reportée sur les modélisations hydrauliques du CEREMA dans les graphiques suivants.

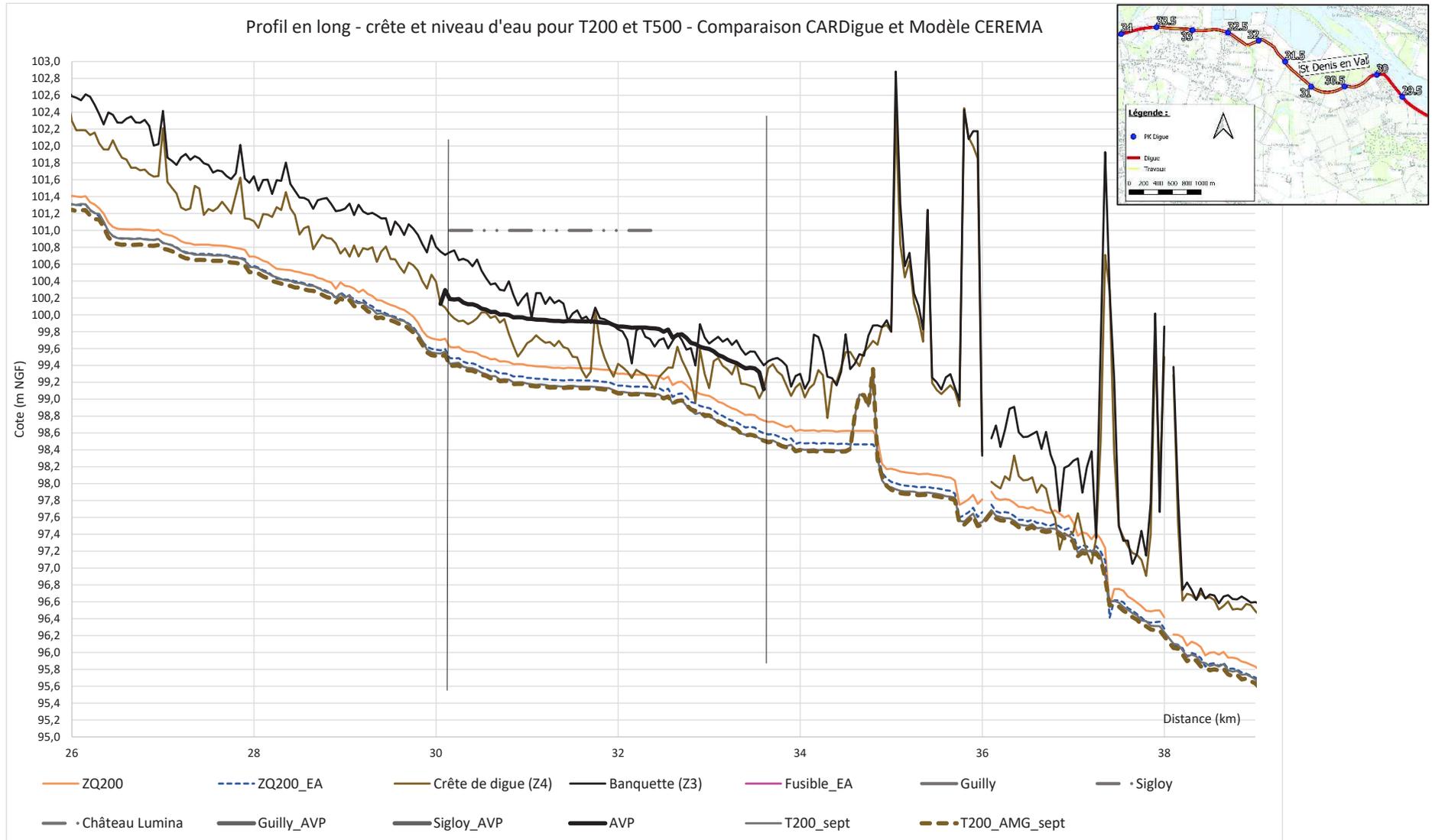


Figure 49 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Saint Denis en Val (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

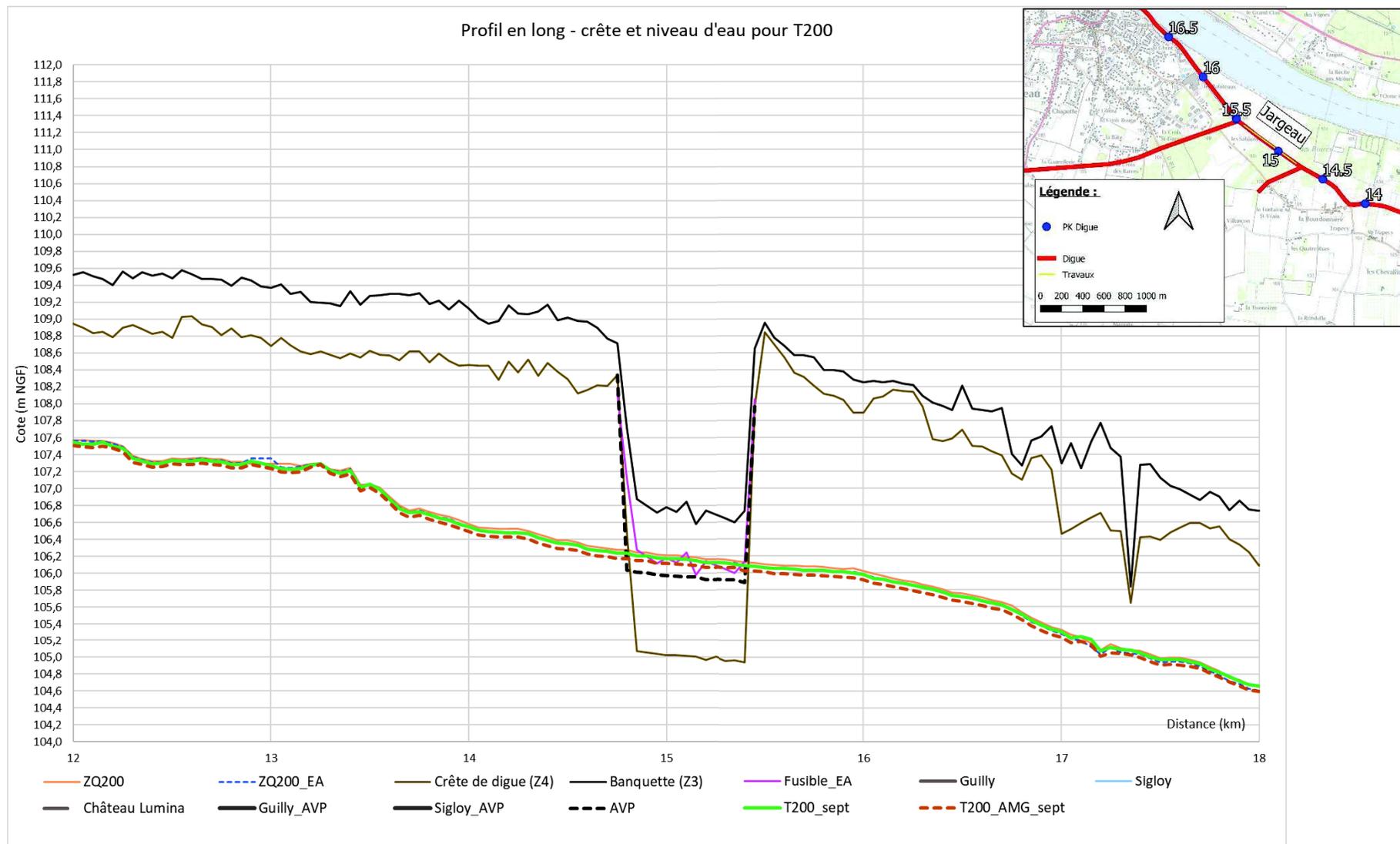


Figure 50 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Jargeau (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

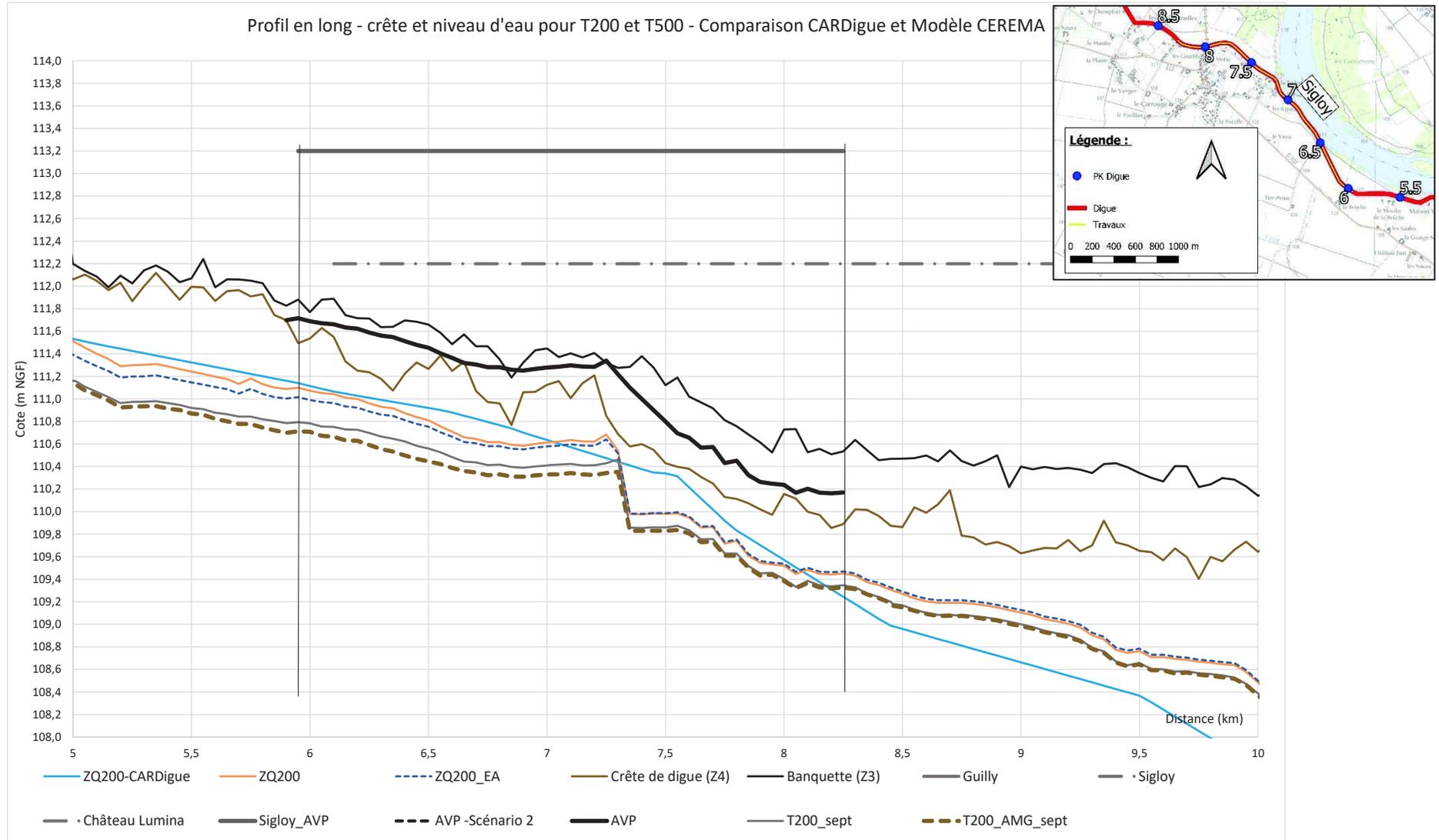


Figure 51 : Profil en long pour la crête de digüe et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Sigloy (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

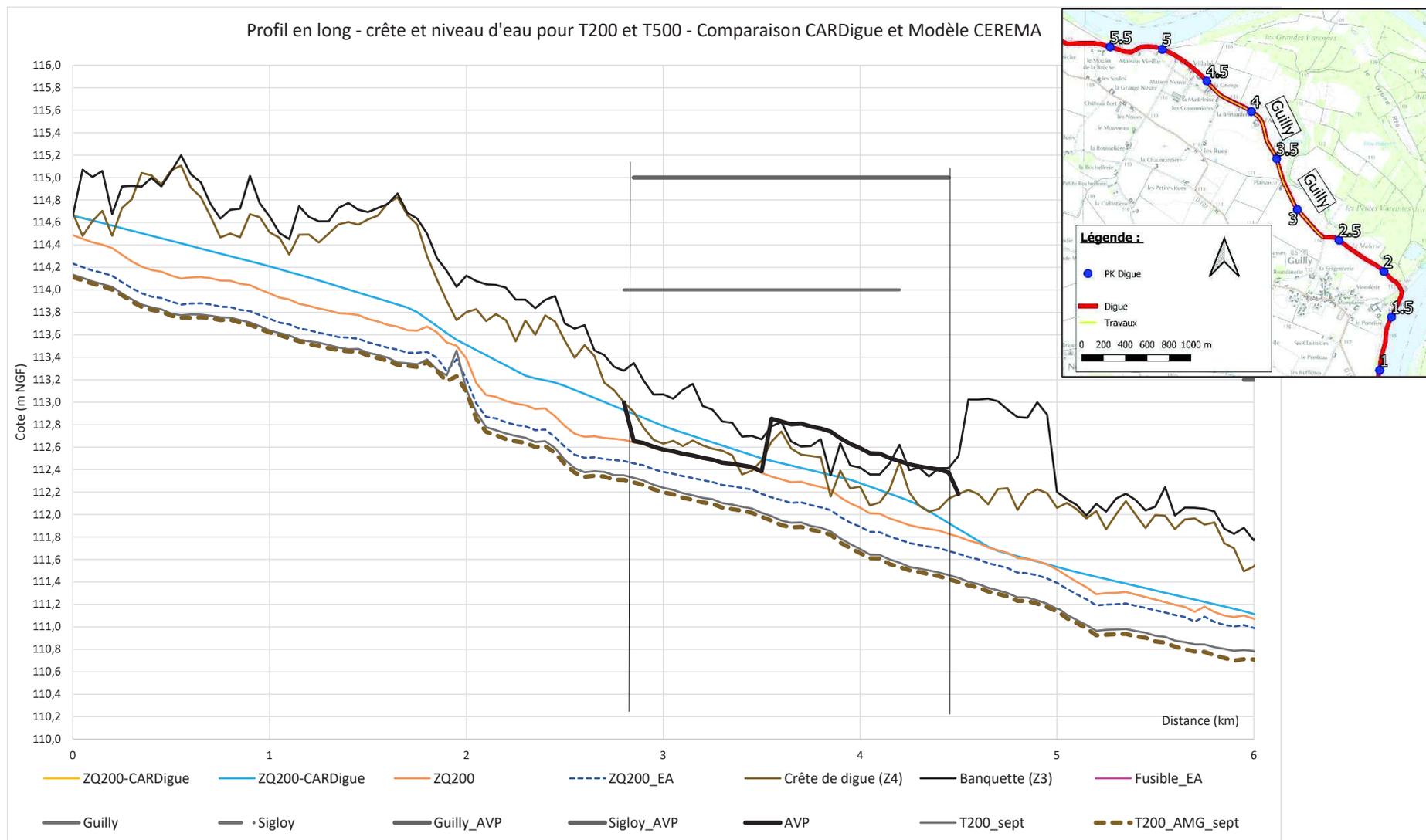


Figure 52 : Profil en long pour la crête de digue et le niveau d'eau pour T200 avec travaux AVP – Secteur de Guilly (version de 2017 et version de septembre 2021 du CEREMA)

5.2.1. Opération 2 du PGF : Fiabilisation et uniformisation de la banquette coté Loire sur le secteur de Saint-Denis-en-Val

5.2.1.1. Localisation

Cette opération concerne un linéaire de 3500 m au Nord de Saint-Denis-en-Val.

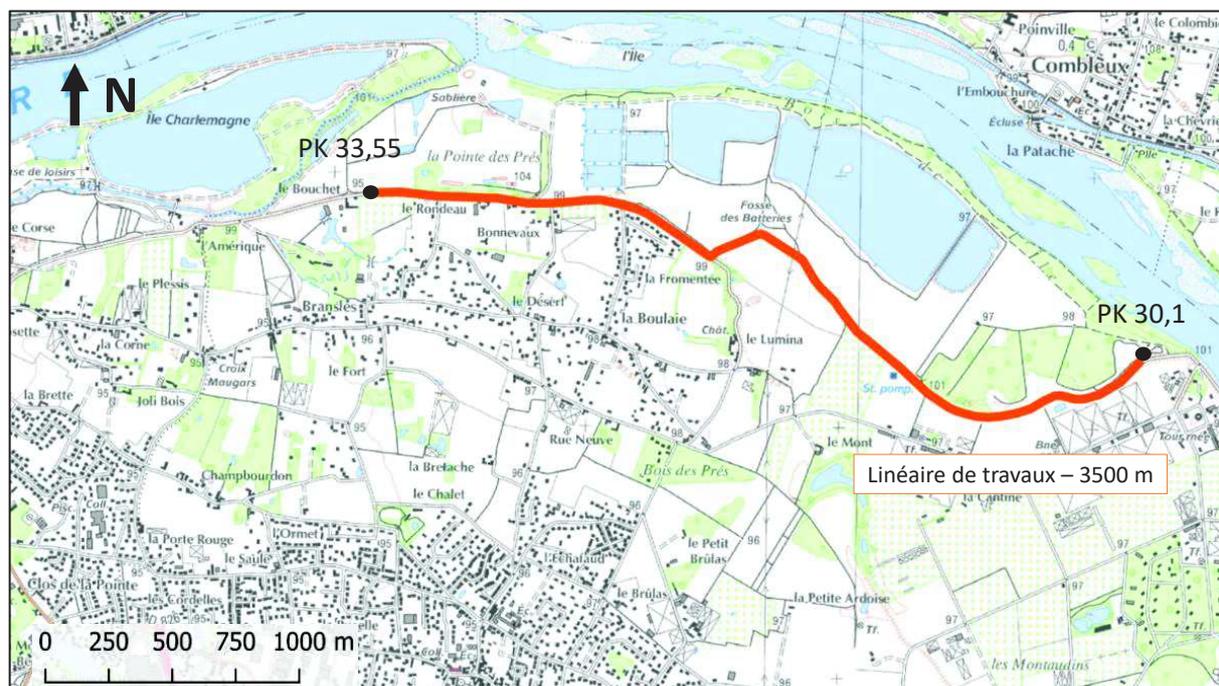


Figure 53 : Localisation des travaux – Opération 2 – Saint-Denis-en-Val

5.2.1.2. Travaux

L'objectif des travaux sur ce secteur est de fiabiliser et d'uniformiser l'altimétrie de la banquette coté Loire. Au regard des différentes contraintes, nous proposons de fiabiliser les banquettes via la réalisation d'un écran en béton ancré à une profondeur égale à 2 fois la hauteur de la banquette. Ce renforcement permettra de limiter les circulations d'eau dans la banquette et ainsi assurer sa stabilité lors des crues. Il conviendra de s'assurer en phase PRO de la capacité de la digue (dans son ensemble, banquette + digue) à résister à une crue T200.

Les travaux seront réalisés selon la méthodologie suivante :

- Dépose éventuelle de panneaux, de barrières, etc ;
- Dégagement des canalisations transversant les banquettes ;
- Réalisation d'une tranchée en crête de banquette au godet fin (25 cm) ;
- Evacuation des déblais ;
- Remplissage de la tranchée au béton non-essorable ;
- Prise du béton non-essorable
- Remise en place éventuelle des panneaux, barrières démontées préalablement ;
- Renappage de 10 cm de terre végétale ;
- Ensemencement.

Les travaux seront réalisés depuis la crête de digue.

En cas de présence éventuelle de perré maçonné sur la banquette, il pourra être envisagé :

- soit une dépose soignée du perré au droit de la tranchée ;
- soit un décapage de la terre végétale accompagné d'un nettoyage et d'un rejointoiement de la maçonnerie afin de garantir son étanchéité.

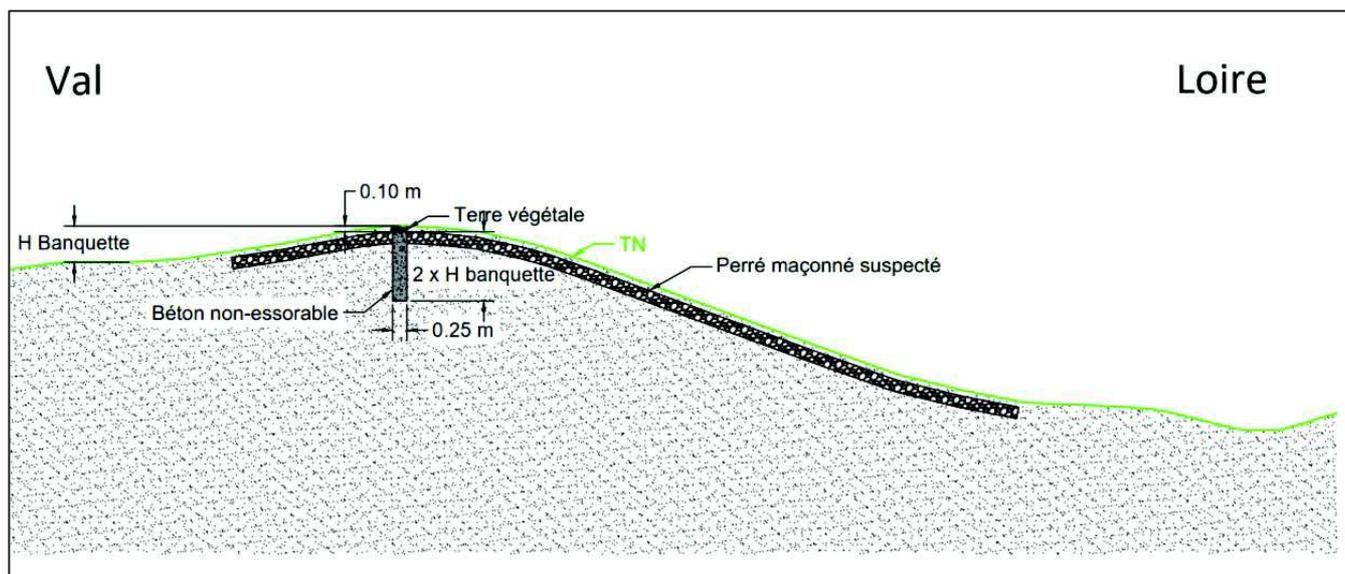


Figure 54 : Coupe de principe des travaux – Opération 2 – Saint-Denis-en-Val

Le perré tel que dessiné sur la coupe type des travaux est la configuration la plus impactante pour le projet, pour autant, cette représentation n'est pas la plus représentative. En effet, dans le cas où un perré serait présent sur le talus amont, il s'arrêterait potentiellement avant la crête de banquette.

5.2.1.3. Choix de conception

Plusieurs conceptions étaient envisagées au lancement des études AVP afin de fiabiliser le niveau de protection associé à la banquette :

- Réhausse de la digue,
- Création d'un mur en L béton ou maçonné,
- Réalisation d'un écran béton dans le corps de la banquette.

La rehausse de la digue a été écartée car c'est une solution coûteuse nécessitant une démolition et réfection totale de la chaussée en crête de digue. De plus, un rehaussement de la digue nécessite d'étudier les tassements induits par le rechargement de l'ouvrage (risque de tassement différentiel si assise non homogène).

La solution de mur en L béton ou maçonnée est une solution visible et donc sujette à discussion avec les monuments historiques. Il a donc été préféré de réaliser un écran béton dans le corps de la banquette afin de ne pas modifier le visuel de l'ouvrage.

5.2.1.4. Justifications

L'analyse du comportement hydraulique lié à la fiabilisation des banquettes côté Loire, a été faite via le logiciel SEEP/W de la suite Géostudio, en régime permanent.

Les calculs ont été effectués, en considérant la digue à l'état actuel et à l'état fiabilisé (mise en place d'un béton autoplaçant d'une hauteur de 2 H, avec H la hauteur de la banquette), en utilisant les caractéristiques suivantes :

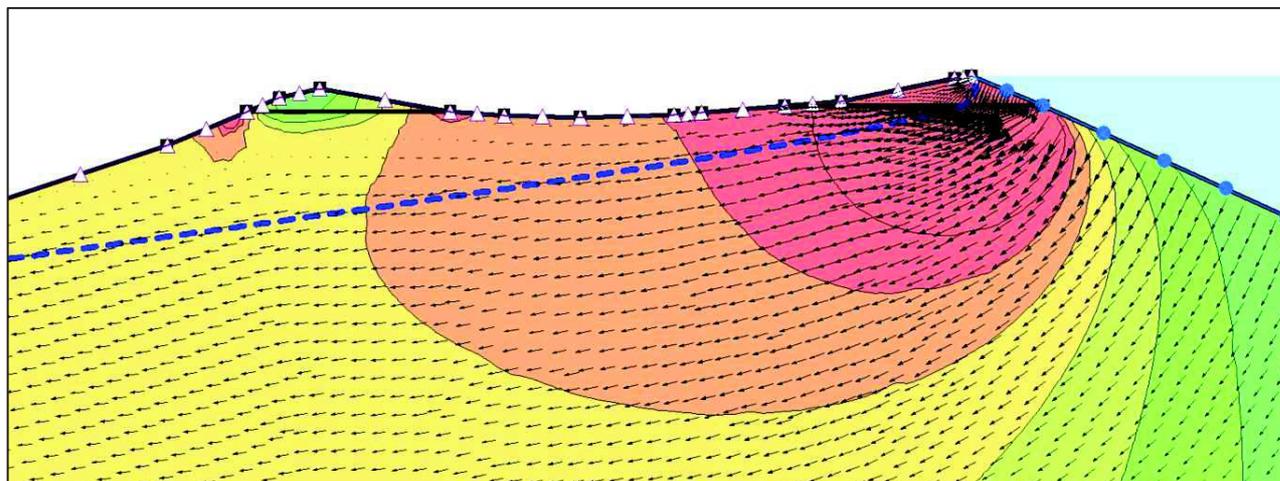
- Corps de digue : Alluvions sablo-graveleuses à sablo-argileuses ou limoneuses la perméabilité K est prise égale à 10^{-5} m/s.
- Terrains d'assise : Alluvions sablo-graveleuses, K est prise égale à 10^{-5} m/s (donnée sécuritaire)

A ce stade du projet, l'analyse porte exclusivement sur le comportement de la banquette. Le comportement global de la digue sera étudié en phase PRO et permettra de différencier les zones avec et sans écran étanche.

Résultats des calculs :

On constate que la solution d'écran béton permet un abaissement de la ligne d'eau de 20 cm au sein de la banquette, en régime permanent.

Banquette à l'état actuel (géométrie issue de la donnée lidar de haute précision Flimap)



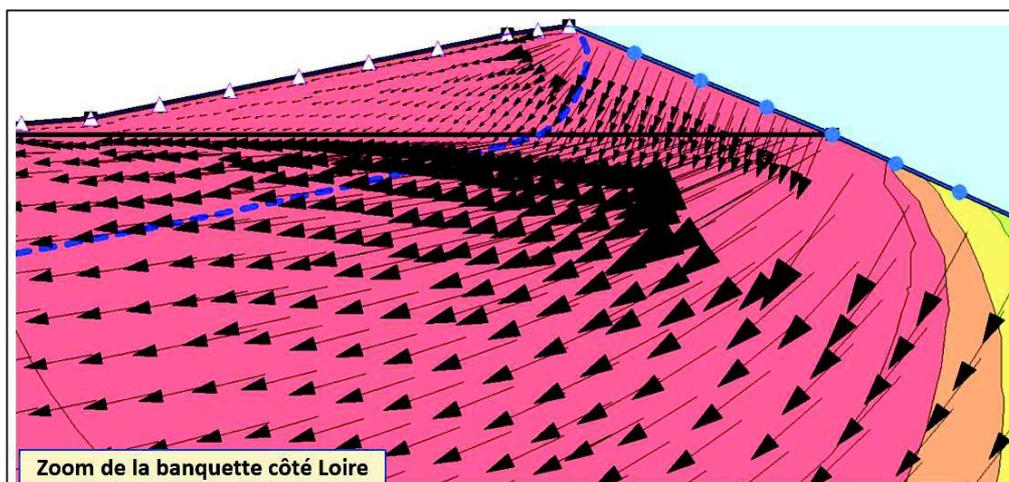


Figure 55 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP de la banquette à l'état actuel, en régime permanent (crue en crête de banquette)

Banquette fiabilisée

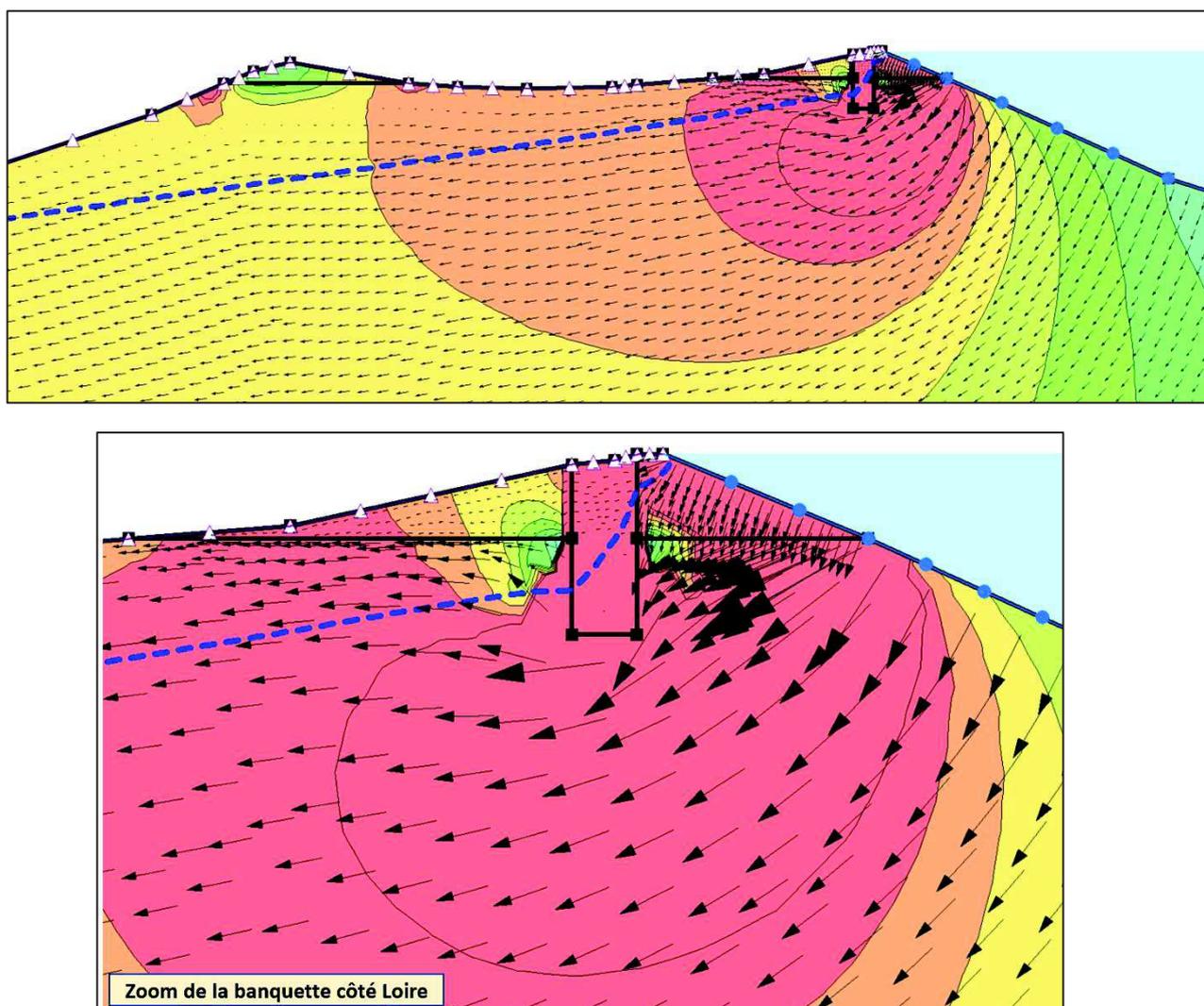


Figure 56 : Résultats de la modélisation hydraulique à l'aide du logiciel SEEP de la banquette fiabilisée, en régime permanent (crue en crête de banquette)