

CISALB

Travaux de protection contre les inondations et
restauration de la Leyse aval

LA MOTTE-SERVOLEX (73)

Dossier n°AF.15538

Etude géotechnique de conception - Phase
Projet (G2 PRO)

NOTE D'HYPOTHESES - AF.15538 - 002



CISALB

Travaux de protection contre les inondations et restauration de la Leyse aval

LA MOTTE-SERVOLEX (73)

Dossier n°AF.15538

Date	Version	Ingénieur chargé du dossier	Contrôle externe	Objet de la version - Modification
22/12/2022	2	Isabelle CAVALLO i.cavallo@kaena.fr ☎ 06 74 40 07 43	Pierre COSTE Jérémy Van Melle	Mise à jour
22/12/2022	1	Isabelle CAVALLO i.cavallo@kaena.fr ☎ 06 74 40 07 43	Pierre COSTE Jérémy Van Melle	Version initiale

SOMMAIRE

Présentation	1
1. Intervenants, missions, documents communiqués	1
Description du projet et de son environnement	3
2. Caractéristiques du projet	3
3. ZIG (Zone d'Influence Géotechnique) du projet	7
4. Sensibilité générale du projet	7
5. Investigations géotechniques et géophysiques	8
Description du site et du contexte	11
6. État des lieux	11
Synthèse géotechnique	20
7. Les sols	20
8. Résultats des essais en laboratoire	28
9. L'eau souterraine	30
10. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques des sols en place	33
11. Risques sismiques – Données règlementaires	35
Données hydrologiques et hydrauliques	36
12. Données hydrologiques	36
Maquette géotechnique	38
Coupes de calcul retenues	38
13. Coupes lithologiques retenues	38
14. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques retenues	42
Annexes	43

PRESENTATION

1. Intervenants, missions, documents communiqués

1.1. Intervenants

Les intervenants dans l'acte de construire sont :

Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre
CISALB	SUEZ Consulting

1.2. Mission du B.E. de géotechnique KAENA

Contrat de prestation géotechnique entre le groupement KAENA/ TECHNOSOL et CISALB : contrat référencé D.15538.

➤ Investigations géotechniques

Procéder à l'exécution de sondages, d'essais et de mesures géotechniques selon un programme défini au CCTP et adapté suivant une proposition de Kaëna en variante.

Fournir la coupe des sondages, les résultats des essais et des mesures ainsi que le plan d'implantation.

➤ Etude de conception - Phase Projet (G2 PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (modèles géologiques et géotechniques, valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques, etc...), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques, des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et approche des quantités.

Les limites de cette mission et les enchaînements des missions géotechniques qui sont recommandés par la norme NF P 94-500, sont rappelés dans les extraits joints en annexe.

L'objet de cette présente note est de définir les hypothèses géotechniques, hydrogéologiques et hydrauliques du projet.

1.3. Documents communiqués

Les documents communiqués pour la présente étude sont les suivants :

➤ **Documents relatifs au projet :**

- [Réf.1] Etude d'Avant-Projet modificatif, Mission de maîtrise d'œuvre pour les travaux de protection contre les inondations et de restauration de la Leyse aval, notice référencée X.001085.001-DIGP 2020-680A, du groupement Suez/ CNR/ Sépia et Tereo, du 21/10/2020,
- [Réf.2] Note de calcul- stabilité confortement digues, référencé DIGP 2020-0470-01, de CNR, de Mai 2020,
- [Réf.3] Plans de l'avant-projet modificatif scénario3, du groupement Suez/ CNR/ Sépia et Tereo, de juillet 2020,
- [Réf.4] Scénario 3- Vue en plan- AVP modificatif, référencé LEYAVP0001A ind.A0, de CNR, du 23/07/2020,
- [Réf.5] Profils-type Rive Droite- AVP modificatif, référencé LEYAVP0002A ind. A0, de CNR, du 23/07/2020,
- [Réf.6] Profils-type Rive Gauche- AVP modificatif, référencé LEYAVP0003A, de CNR, du 23/07/2020,
- [Réf.7] Coupes transversales Rive Droite 1 à 142- AVP modificatif, référencé LEYAVP0005, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.8] Coupes transversales Rive Gauche 1 à 92- AVP modificatif, référencé LEYAVP0006, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.9] Profil en long Rive Droite- AVP modificatif, référencé LEYAVP0008, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.10] Profil en long Rive Gauche- AVP modificatif, référencé LEYAVP0009, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.11] Localisation des coupes d'ensemble- AVP modificatif, LEYAVP0010, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.12] Vue en plan - AVP modificatif, référencé LEYAVP00011, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.13] Vue en plan générale- AVP modificatif, référencé LEYAVP00011 ind B0, de CNR, du 24/07/2020,
- [Réf.14] Vue en plan générale- AVP modificatif, référencé LEYAVP00012 indB0, de CNR, du 14/12/2021,
- [Réf.15] Limnigramme Q100 de la Leyse sur le tronçon d'études- fichier Excel, de CNR, du 13/07/2022

➤ **Normes et recommandations :**

- [Réf.16] Eurocode 7 : NF EN 1997-1- Calcul géotechnique- Partie 1
- [Réf.17] NF EN 1997-1/NA – Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales – Annexe nationale,
- [Réf.18] NF EN 1998-5/NA - Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques
- [Réf.19] NF P94-262 - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - fondations profondes
- [Réf.20] NF P94-261- Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - fondations superficielles,
- [Réf.21] NF P94-270 – Ouvrages de soutènement – remblais renforcés et massifs en sol cloué,
- [Réf.22] NF EN 14475- Norme européenne d'exécution des travaux géotechniques spéciaux,
- [Réf.23] Recommandations du CFBR : « Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai » de 2015.
- [Réf.24] Guide technique du SETRA –Réalisation des remblais et des couches de forme –Fascicule I,
- [Réf.25] Guide technique du SETRA –Réalisation des remblais et des couches de forme –Fascicule II,
- [Réf.26] Site internet Géorisques,
- [Réf.27] Site internet Infoterre.

DESCRIPTION DU PROJET ET DE SON ENVIRONNEMENT

2. Caractéristiques du projet

2.1. Objectifs des travaux

Le projet concerne les systèmes d'endiguement aval de la Leysse : SE2.2 en rive droite et SE5 en rive gauche.

A la suite de l'étude de danger du système d'endiguement de la rive droite SE2, il a été mis en évidence des risques de débordement en crue et un état très dégradé des endiguements.

Le projet consiste donc à réaliser des travaux de protection contre les inondations et de restauration de la rivière La Leysse, sur sa partie aval. La zone d'étude est située entre le pont de l'A41, à l'amont (PKL 6.250) et le pont du Tremblay à l'aval (PKL 3.430), sur 2.8 km, sur les communes de la MOTTE-SERVOLEX et VOGLANS (73).

Lors de l'étude d'avant-projet, 3 scénarios ont été étudiés. Le scénario 3, version de base, a été retenu.

Les objectifs de ces travaux sont notamment :

- **Hydrauliques** : réduire la vulnérabilité de la zone protégée, en garantissant (à minima pour la rive droite) un niveau de protection équivalent à celui de la ligne d'eau de la crue centennale, avec une revanche de sécurité de 0.30 m ;
- **Sûreté des systèmes d'endiguement** : il s'agit d'assurer la remise à niveau des digues, conformément à la réglementation en vigueur et en cohérence avec leur classement ;
- **Ecologiques** : diversifier les habitats aquatiques et rivulaires (enjeu de la trame verte) par des actions sur la morphologie du lit et des berges et des actions de végétalisation et de génie écologique, en cohérence avec les deux objectifs précédents, et en intégrant le fonctionnement hydro-morphologique de l'hydrosystème et la gestion des milieux pour garantir une pérennité des actions sur le long-terme.



2.2. Description des ouvrages - Principes constructifs envisagés

➤ Caractéristiques des travaux et des futures digues après travaux :

Nous décrivons ci-dessous les caractéristiques de digues et des profils-types qui seront étudiés en G2 PRO :

Désignation	Rive gauche		Rive droite		
Linéaire	2.0 km		2.8 km		
Programme des travaux	Digue actuelle SE5 arasée en intégralité entre le pied de talus amont et le pied de talus avant. Création d'une nouvelle digue de 1.8 km, selon 2 profil-types, suivant la nature des matériaux de la digue arasée.		Epaulement du talus amont pour protéger contre les érosions internes et externes avec purge préalable du talus sur 80 cm+ géotextile GSB pour l'étanchéité amont de l'ouvrage jusqu'à Q_{100}. Enrochement avec sabot anti-affouillement en pied jusqu'à Q_2+ géogrille tridimensionnelle au-dessus. Pas d'ancrage de la GSB dans un horizon étanche → remontée de nappe côté plaine non traitée. L'emprise de cet épaulement amont dépend de la position du réseau d'assainissement Ø 1200 qui ne peut pas être dévié. Epaulement du talus aval pour conserver la piste cyclable pendant le chantier et améliorer la stabilité de l'ouvrage. Purge préalable du talus sur 50 cm.		
Profil-types	Profil-type Limons/argiles* : Etanchéité réalisé par un noyau limons/ argiles Parement en matériaux alluvionnaires Mise en œuvre si suffisamment de matériaux fins type A1/A2 disponibles (Argile d'apport du site de la Coua ou du Viviers-du-Lac ou déblai de la digue)	Profil-type GSB (Géosynthétique bentonitique) : Etanchéité par GSB Corps de digue en tout-venant. Solution mise en œuvre si peu de matériaux fins. Elle permettra alors le réemploi des déblais du corps de digue (autres que matériaux fins) et d'augmenter la pente du talus aval et donc réduire l'emprise de la digue.	Profil-type « courant » : Purge du talus amont sur 80 cm d'épaisseur. Protection du talus amont par enrochement jusqu'à Q_2 avec sabot anti-affouillement en pied + géogrille tridimensionnelle. Epaulement du talus aval avec tout-venant alluvionnaire, après purge sur 50 cm.	Profil-type « aval pont de l'autoroute » : raidissement du talus amont, sur 130 ml entre le PKL 6.240 et le PKL 6.110. Enrochement d'1 m d'épaisseur jusqu'à Q_2 + matelas Réno entre Q_2 et Q_{100}.	Profil-type « bras-mort » en face du magasin Promocash (entre PKL 6.010 et PKL 5.820): Mise en œuvre d'un mur de soutènement type gabions à l'aval pour limiter l'emprise sur le foncier
Largeur crête	4 m		Variable 4 à 6 m		
Pente talus amont	2H/ 1V	2H/ 1V	2H/1V en partie inférieure puis variable	3H/2V	2H/1V en partie inférieure puis variable
Pente talus aval	2H/ 1V	3H/2V	3H/2V	3H/2V	Sub-vertical

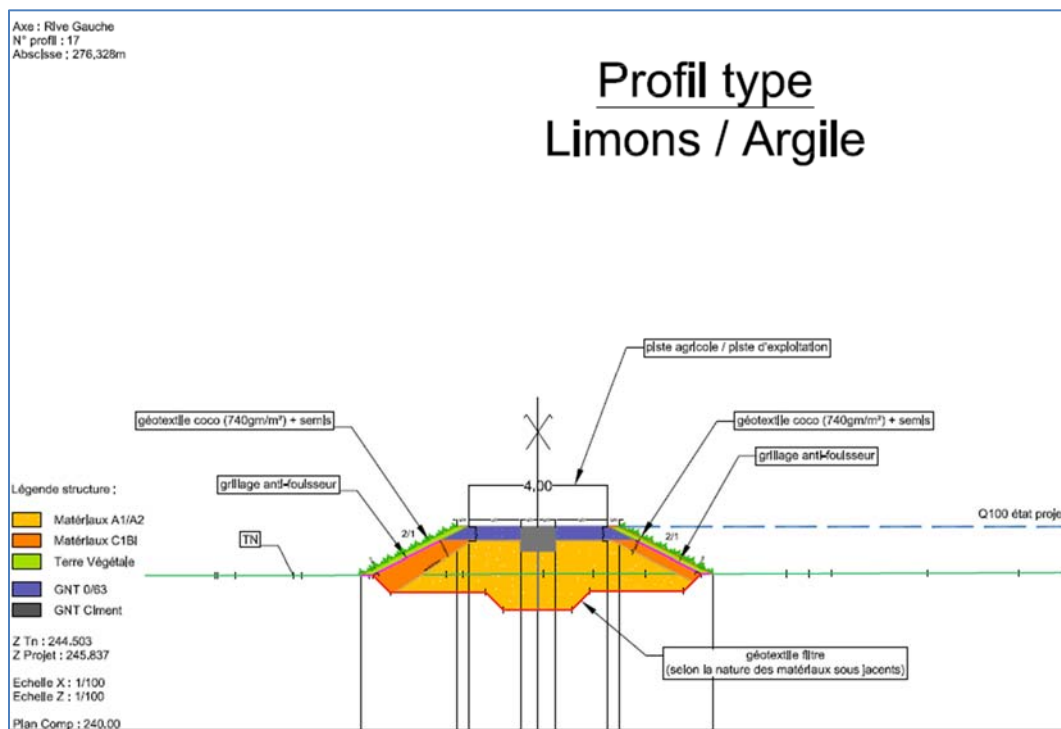
Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des travaux

*Les sondages réalisés en G2 PRO au droit de la digue actuelle en rive gauche permettent de déterminer la nature des matériaux de cette digue qui sera arasée. Ainsi ils permettront de déterminer les linéaires sur lesquels seront appliqués ces 2 profils-type.

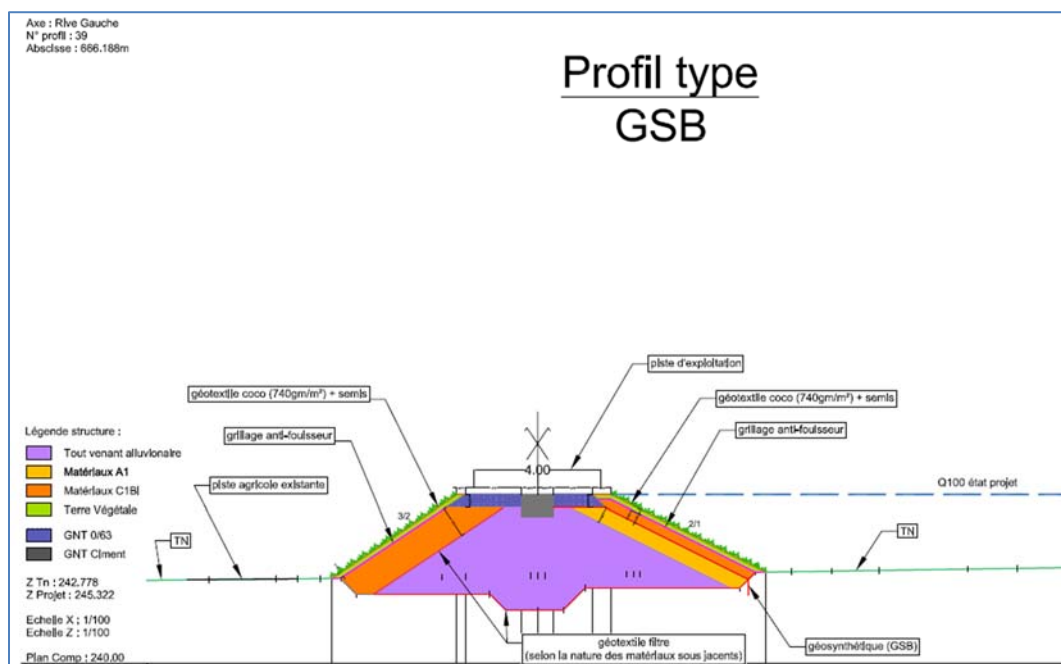
Le profil-type « Limon/ argile » sera mis en œuvre si des matériaux fins A1/ A2 sont mis en évidence.

➤ **Profils-type des futures digues après travaux en Rive Gauche:**

En rive gauche, les profils-type définis au stade de l'étude AVP, sont les suivants :



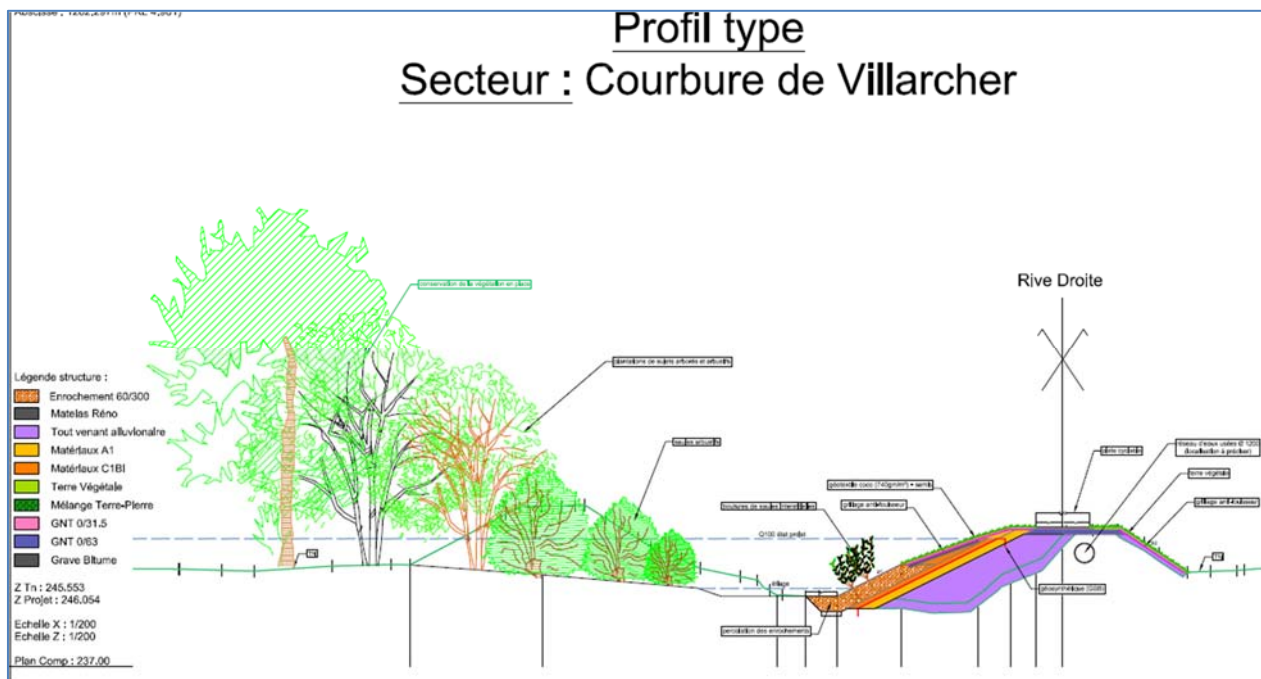
Profil-type « Limons/ Argile » en Rive Gauche (Source réf.6)



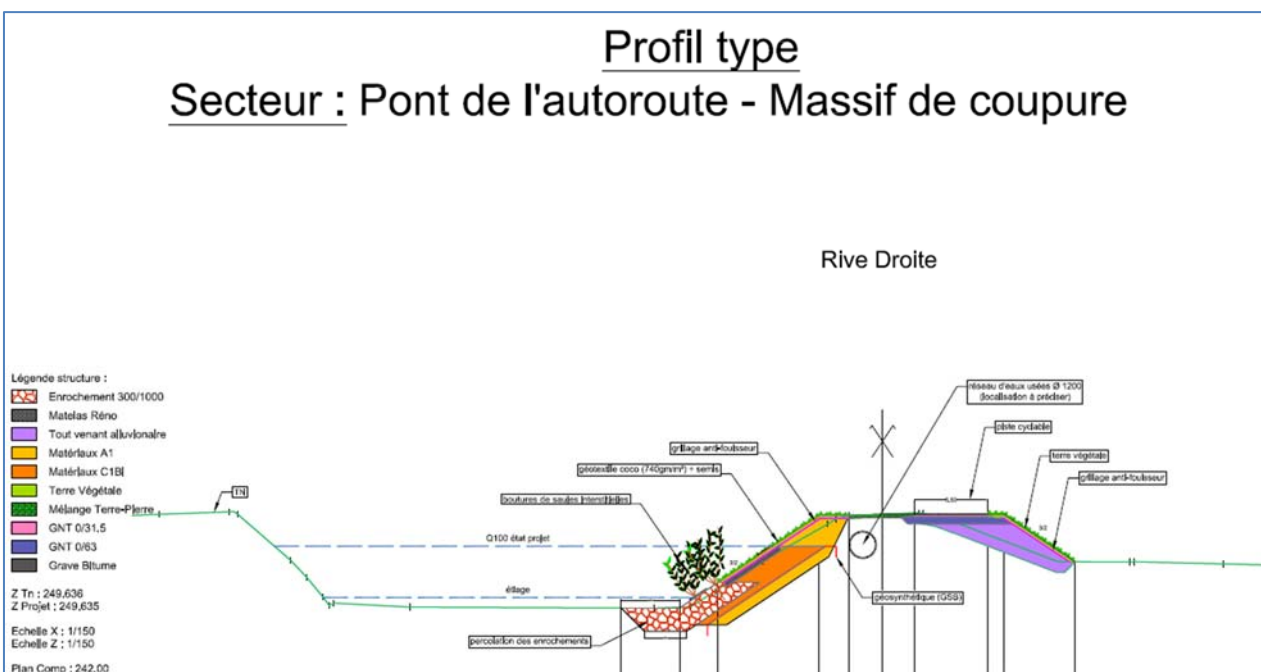
Profil-type « Limons/ Argile » en Rive Gauche (Source réf.6)

➤ **Profils-type des futures digues après travaux en Rive Droite :**

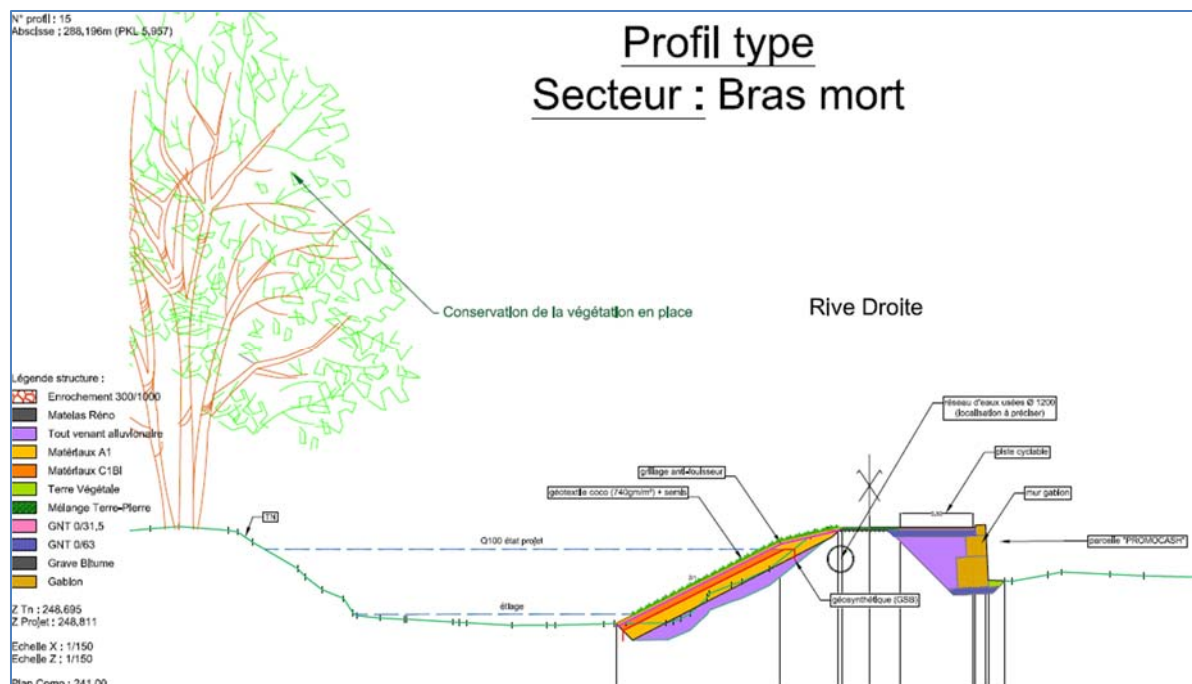
Profil « courant » : une purge du talus amont sur 80 cm sera réalisée, puis il sera mis en place un géotextile GSB jusqu'à Q_{100} , un enrochement avec sabot anti-affouillement en pied jusqu'à Q_2 et une géogridde tridimensionnelle au-dessus. Ce talus amont aura une pente à 2H/1V. Le talus aval sera purgé sur 50 cm puis épauler avec une pente à 3H/2V.



Profil dit « courant » (Source réf.5)



Profil « tronçon aval pont de l'autoroute » : le talus amont sera raidi avec une pente à 3H/2V (Source réf.5)



Profil « Bras mort » (Source réf.6)

Un mur de soutènement devra être réalisé ici au niveau du talus aval sur 60 ml.

3. ZIG (Zone d'Influence Géotechnique) du projet

Définition de la ZIG : Volume du terrain au sein duquel il y a interaction entre :

- l'ouvrage (ou les travaux nécessaires à sa réalisation),
- et son environnement (sols et ouvrages environnants).

Dans le cas présent, la ZIG est constituée par :

- toutes les parcelles sur lesquelles sont situées les digues actuelles et les futures digues,
- la piste cyclable et les réseaux existants sur la digue en rive droite,
- les bâtiments et voiries de la ZAC des Landiers Ouest, sur la partie Sud du secteur d'études, à moins de 15 m de la digue en rive droite (bâtiment Promocash, concession Jean Lain).
- Les parcelles agricoles en rive gauche.
- Les réseaux, notamment AEP et conduites de gaz GRT, présentes dans les parcelles en rive gauche.

4. Sensibilité générale du projet

La sensibilité générale du projet vis-à-vis de sa destination et de la ZIG va être fortement conditionnée par les aspects suivants :

- Ouvrages souples peu sensibles aux tassements différentiels.
- Ouvrages de protection contre les crues : stabilité cruciale
- Travaux de terrassement en déblai avec parfois peu de recul par rapport aux limites et des ouvrages sensibles à proximité.
- Projet nécessitant des phasages de travaux successifs.

5. Investigations géotechniques et géophysiques

5.1. Campagnes précédentes

Des campagnes de reconnaissances ont été réalisées en 2016 par la société Hydrogéotechnique pour le compte de Chambéry Métropole. Les sondages et essais réalisés lors de ces campagnes sont les suivants :

➤ **Sur la digue SE5 en rive gauche :**

- 3 forages carottés, notés S5-SC1 à S5-SC3, descendus jusqu'à 7 m de profondeur,
- 4 sondages semi-destructifs à la tarière, S5-TH1 à S5-TH4, descendus jusqu'au refus entre 0.75 et 1.0 m de profondeur.
- 3 sondages pénétrométriques, S5-PD1 à S5-PD3, descendus à 7m de profondeur,
- 2 sondages pénétrométriques manuels, S5-PDm1 et S5-PDm2, descendus respectivement à 4.3 et 3.9 m de profondeur.
- Des essais en laboratoire sur les échantillons intacts prélevés dans les sondages carottés, dont :
 - 6 mesures de la teneur en eau,
 - 6 essais au bleu de méthylène,
 - 6 analyses granulométriques,
 - 3 analyses sédimentométriques,
 - 1 essai de cisaillement à la boîte.

Des reconnaissances géophysique par panneaux électriques, avec :

- 1 profil longitudinal de 2665 entre les PKL 6.37 et 3.72
- 4 profils transversaux aux PKL 5.94, PKL 5.62, PKL 5.42 et PKL 5.0

➤ **Sur la digue SE2 en rive droite :**

- 6 forages carottés, notés S2-SC1 à S2-SC6, descendus jusqu'à 10m de profondeur pour S2-SC1 et 7m de profondeur pour S2-SC2 à S2-SC6,
- 1 sondage destructif, noté S2-SD2, descendu à 7 m de profondeur,
- 2 sondages pénétrométriques, notés S2-PD9 et S2-PD10,
- 4 essais de perméabilité de type Lefranc, menés en S2-SC3 entre 2 et 3m et entre 6 et 7m de profondeur et en S2-SC5 entre 2 et 3m et entre 6 et 7m de profondeur.

Des essais en laboratoire sur les échantillons intacts prélevés dans les sondages carottés, dont :

- 16 mesures de la teneur en eau,
- 15 essais au bleu de méthylène,
- 16 analyses granulométriques,
- 13 analyses sédimentométriques,
- 7 essais de cisaillement à la boîte.

Des reconnaissances géophysique par panneaux électriques, avec :

- 1 profil longitudinal de 2950 entre les PKL 6.27 et 3.32
- 5 profils transversaux aux PKL 6.21, PKL 5.875, PKL 4.835 et PKL 4.335, PKL 3.97 et PKL 3.47.

5.2. Campagne réalisée dans le cadre de la mission G2 PRO

5.2.1. *Implantation – Nivellement*

➤ **Implantation des sondages**

Les sondages ont été implantés à partir des existants dans le voisinage du terrain, qui sont représentés sur le fond de plan topographique transmis.

La position de ces sondages est repérée sur le plan d'implantation joint en annexe.

➤ **Altimétrie de la tête des sondages**

Les coordonnées de chaque point de sondage ont été relevées par un géomètre expert.

Le système altimétrique de référence est le NGF normal (IGN 69).

Le tableau de coordonnées des points de sondage est fourni en annexe.

5.2.2. *Reconnaisances in-situ*

Cette campagne de reconnaissance concerne essentiellement la rive gauche de la Leyse, à l'exception des carottages de chaussée réalisés sur la piste cyclable en rive droite.

➤ **Sondages de reconnaissance géologique et essais in-situ par :**

- 12 forages carottés, référencés SC0 à SC11, descendus à 6 m de profondeur, excepté les sondages SC10 et SC11 descendus respectivement à 4.0 et 5.5 m de profondeur.

Les sondages SC1 à SC9 ont été réalisés au carottier vibro-foncé, diamètre 114 mm, réalisé sous gaine pour le prélèvement d'échantillons intacts.

Les sondages SC1 à SC8 ont été implantés au droit du futur tracé de la digue rive gauche. SC9 est implanté en tête de la digue existante.

Compte-tenu des difficultés d'accès à la tête de digue actuelle, les sondages SC0, SC10 et SC11 ont été réalisés au carottier portatif.

- 9 essais de perméabilité de type Lefranc/Nasberg norme NF EN ISO 22282-2 dans les sondages SC1 à SC8 entre 1.5 et 2.5 m de profondeur. En SC2, un 2^e essai a été également réalisé entre 4 et 5 m de profondeur.
- 3 carottages de chaussée pour des prélèvement d'échantillon d'enrobé ou béton, référencés SC12 à SC14.

➤ **Sondages et mesures de caractéristiques géomécaniques par :**

- 8 sondages au pénétromètre statique à la pointe électrique norme NF EN ISO 22476-1 descendus entre <6.9m et 13.1 m de profondeur et référencés, CPTU1 à CPTU8.

5.2.3. Essais en laboratoire :

➤ Essais d'identification des sols par :

Des essais d'identification des sols sur des échantillons intacts prélevés dans les forages carottés SC0 ont été réalisés. L'identification des échantillons est récapitulée dans le tableau ci-dessous.

Sondage	Intact	Remanié	Profondeur (m/TA)
SC1	X		0.3 à 1.0
SC1	X		2.3 à 2.7
SC2	X		1.5 à 2.5
SC3	X		1.05 à 1.75
SC3	X		3.0 à 4.0
SC6	X		2.0 à 2.5
SC7	X		0.35 à 1.6
SC8	X		0.45 à 1.0
SC8	X		3.25 à 3.80
SC9	X		0.2 à 1.5
SC9	X		3.10 à 4.20
SC9	X		2.25 à 2.60

Des essais d'identification des sols sur des échantillons remaniés du site de stockage de matériau A1/A2 du viviers.

Sondage	Intact	Remanié	Profondeur (m/TA)
P1		X	0,5 à 0,7
P2		X	0.7 à 1.1
P3		X	1.0 à 1.3
P4		X	0.5 à 0.8
P5		X	0.5 à 0.7

Les essais d'identification réalisés sur ces échantillons sont :

- Teneur en eau pondérale (NF P94-050).
- Valeur au bleu de méthylène (NF P94-068).
- Analyse granulométrique des matériaux - Méthode par tamisage (NF P 94-056).
- Analyse granulométrique des matériaux - Méthode par sédimentation (NF P 94-057).

➤ Essais chimiques pour acceptation en ISDI :

Des essais d'acceptation de sols en Installation de Stockage de Déchet Inerte ont été réalisés sur les échantillons suivants :

Sondage	Intact	Remanié	Profondeur (m/TA)
SC9	X		0.4 à 1.0 m
SC9	x		3.6 à 4.0 m

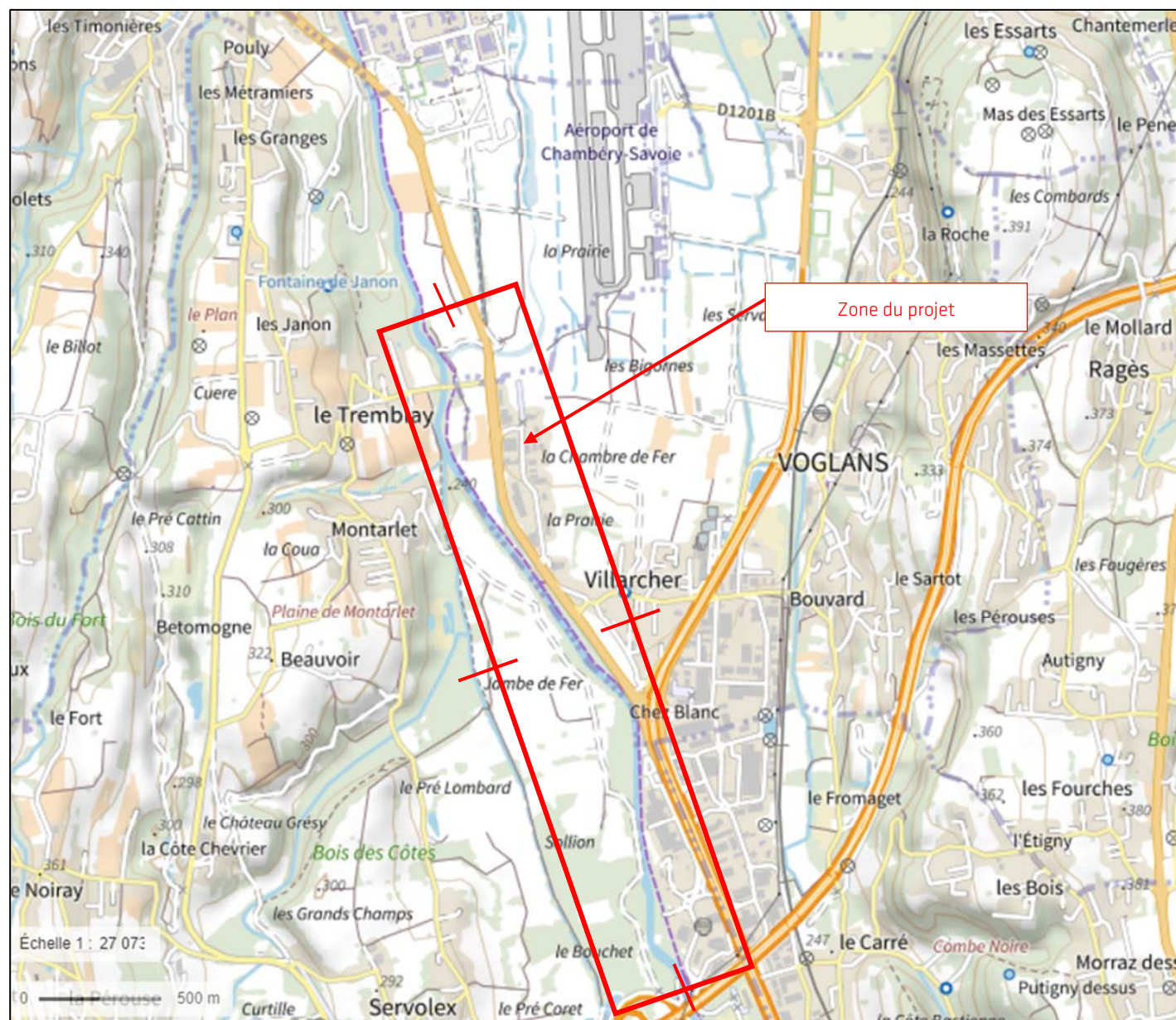
DESCRIPTION DU SITE ET DU CONTEXTE

6. État des lieux

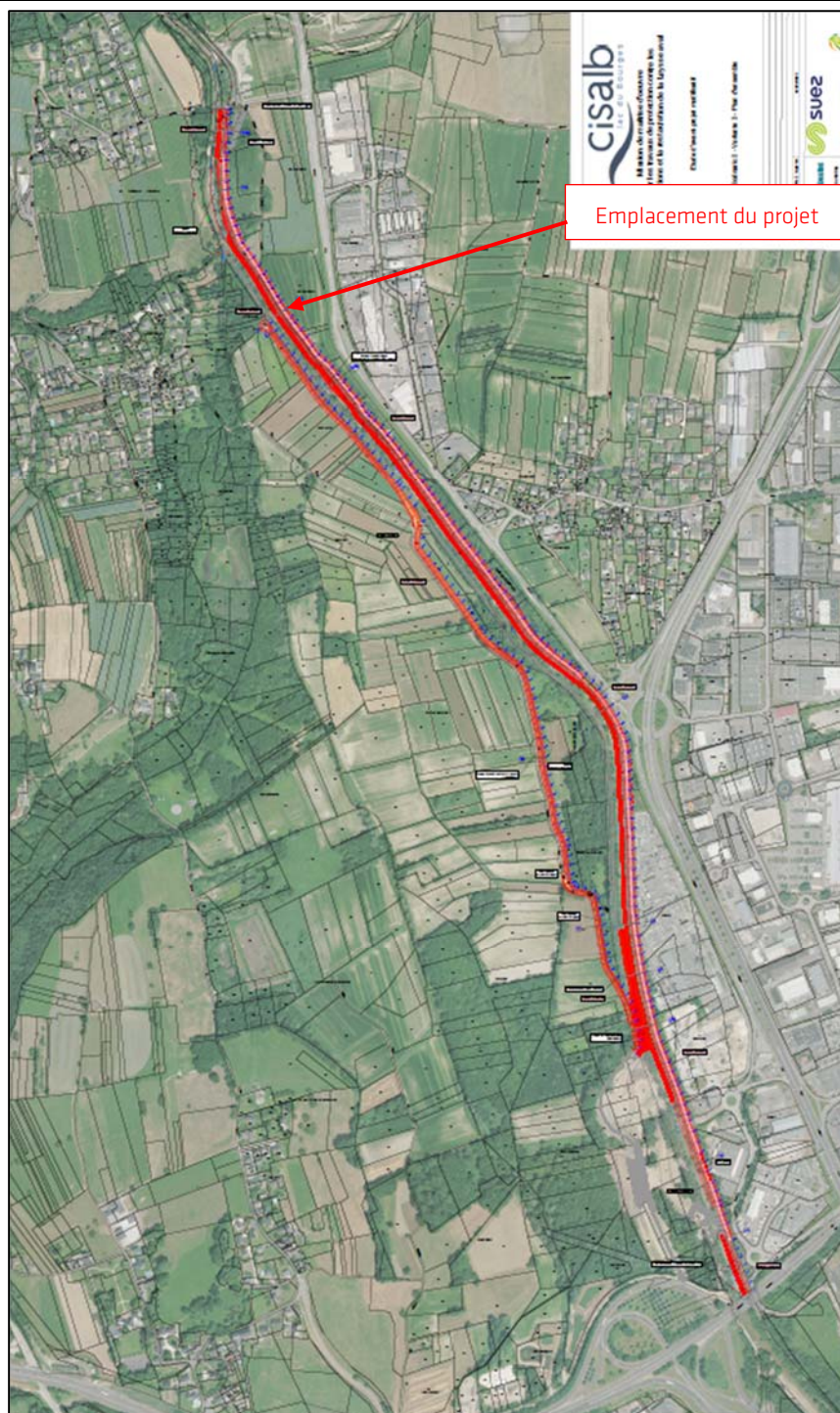
6.1. Localisation

Commune : LA MOTTE-SERVOLEX (73)

Lieu-dit : Digue de la Lysse entre le PKL.3.4.30 (Pont du Tremblay et le PKL.6.250 (Pont de l'A41)



Extrait Carte IGN 1/25000 – Source Géoportail



Photographie aérienne – Extrait du plan [réf.14]

6.2. Topographie et géomorphologie – Examen visuel du site

6.2.1. Digue actuelle SE2.2 en rive droite

➤ Topographie et géomorphologie :

Contexte général : la digue est située en rive droite de la Leyse, dans la plaine entre le lac du Bourget et La Motte-Servolex.

Altimétrie de la crête de digue : Le profil en long de la crête de la digue est compris entre les cotes 250.0 m NGF et 240.86 m NGF. Elle présente, en général, une pente moyenne régulière et faible de l'ordre de 0.2 à 0.4 %, descendante vers le Nord,

Hauteur de la digue : 3.0 à 5.5m par rapport au lit de la Leyse et 1.5 à 4m par rapport à la plaine.

Pente du talus amont : 3H/ 2V à subvertical.

Pente du talus aval : 3H/ 2V en moyenne, proche de 1H/ 1V localement.

Largeur de la crête : 3 à 6 m en général, ponctuellement 10 m.

Revêtement en crête : revêtement en enrobé puis béton de la piste cyclable, excepté 100 m à l'amont du pont du Tremblay sans revêtement.

Revêtement des talus : pas de protection du talus aval. En général, pas de protection du talus amont, à l'exception de quelques enrochements de dimensions variables. Localement, on note la présence résiduelle d'anciennes protections (perrés en pied de berge, gabions, etc....)

Végétation : Peu d'arbres sur le talus aval. Plus de végétation sur le talus amont. Toutefois, le talus amont semble avoir été défriché depuis 2020.



Photo 1 : Talus amont vers le PKL 4.8



Photo 2 : Talus amont vers le PKL 4.8



Photo 3 : Talus amont vers le PKL 5.4



Photo 4 : Talus amont vers le PKL 5.5

➤ **Désordres relevés :**

Le rapport d'études AVP modificatif répertorie les désordres relevés en 2020. Il est indiqué notamment :

Au niveau du talus amont, la présence de nombreuses anses d'érosion, de talus raides, parfois sub-verticaux et des amorces de loupe de glissement.

Au niveau de la crête, des dévers marqués sur la piste cyclable et de nombreuses fissures du revêtement et des accotements, témoignant d'affaissement de la digue.

Au niveau du talus aval, il est noté de nombreux indices de fluage ou solifluxion du talus aval, affectant la crête de talus.

6.2.2. Digue actuelle S5 en rive gauche

➤ **Topographie et géomorphologie :**

Contexte général : la digue est située en rive gauche de la Leysse, dans la plaine de Pré-Marquis entre le lac du Bourget et La Motte-Servolex.

Altimétrie de la crête de digue : Le profil en long de la crête de la digue est compris en général entre les cotes 244.8 m NGF et 241.0 m NGF. Elle présente, en général, une pente moyenne régulière et faible de l'ordre de 0.2 à 0.4 %, descendante vers le Nord. A l'extrémité Nord, le profil en long présente une pente plus raide, entre 1.2 et 5%, entre les cotes 248.2 et 245.0 mNGF.

Hauteur de la digue : 3.5 à 6.5m par rapport au lit de la Leysse et 1.0 à 4.0m par rapport à la plaine.

Pente du talus amont : 1H/ 1V à subvertical.

Pente du talus aval : 3H/ 2V en moyenne, proche de 1H/ 1V localement.

Largeur de la crête : 2 à 4 m en général, localement la largeur est fortement réduite pour certains points bas et l'extrémité aval.

Revêtement en crête : aucun.

Revêtement des talus : pas de protection du talus aval. En général, pas de protection du talus amont, à l'exception de quelques enrochements de dimensions variables. Localement, on note la présence d'anciens gabions et d'un mur béton à mi-talus entre les PKL.4.8 et 4.7.

Végétation : relativement dense (arbres, arbustes, ronces, ...)



Photo 5 : Crête de la digue au point de sondage SC11



Photo 6 : Crête de la digue entre les points de sondage SC10 et SC11

➤ **Désordres relevés :**

Le rapport d'études AVP modificatif répertorie les désordres relevés en 2020. Il est indiqué notamment :

Au niveau du talus amont, la présence notamment d'érosion et d'affouillement marqué du talus, de souches en cours de décomposition et de quelques niches d'effondrements localisées.

Au niveau de la crête, la présence de nombreuses souches en cours de décomposition et de nombreux indices de racines traversantes.

Au niveau du talus aval, la présence de nombreuses souches en cours de décomposition

6.2.3. Linéaire de la future digue en rive gauche

➤ **Topographie et géomorphologie :**

Contexte général : Le future digue en rive gauche sera située plus en recul de la Leyse, dans la plaine du pré-marquis. Il s'agit d'une plaine agricole.

Altimétrie du terrain : 241.0 à 244.5

Végétation : végétation rase de prés et cultures.



Photos 7 et 8 : Vers les sondages CPT6 et SC6



Photos 9 ; 10 et 11 : Vers sondage CPT7 et SC7

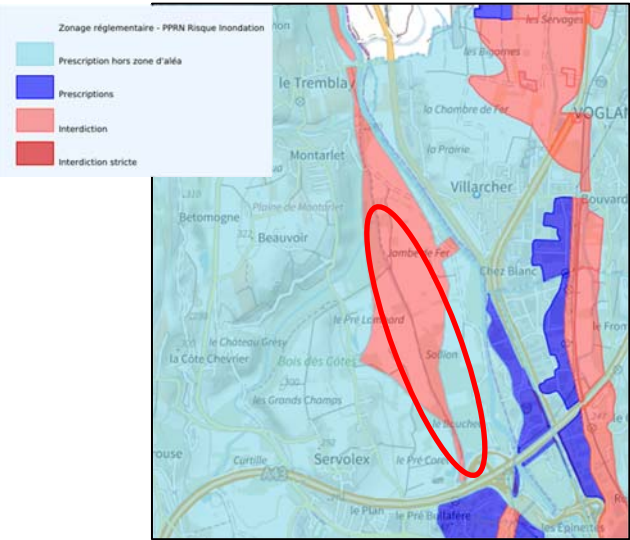
➤ **Eau :**

Le site est traversé par la Leyse. La nappe phréatique est en étroite relation avec la Leyse.

Nota : lors de la campagne de reconnaissances géotechniques, les conditions météorologiques étaient favorables : sec et chaud. Pour rappel, le printemps et l'été 2022 ont été particulièrement secs.

6.3. Risques Naturels

Il est de la responsabilité des Constructeurs de valider ou de compléter ces informations en interrogeant les services compétents et en consultant les documents originaux sur format papier en mairie ou en préfecture. Il s'agit de s'assurer de la concordance entre les travaux envisagés et l'ensemble des mesures de protection demandées par l'administration.

Risque	Carte / source	Aléa / niveau de risque
Retrait-gonflement des sols argileux	 <i>Extrait de la carte d'aléa de phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux (BRGM)</i> http://www.georisques.gouv.fr/	Degré d'aléa : ☒ Faible ☐ Moyen ☐ Fort
Hydrogéologique et hydraulique ☒ Inondation ☐ Crue torrentielle ☒ Remontée de nappe	 <i>Extrait de la carte réglementaire du PPR inondation</i>	Degré d'aléa : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Fort
Géologique	http://www.georisques.gouv.fr/	Pas de mouvement de terrain répertorié
Sismique	http://www.georisques.gouv.fr/	☐ Zone 1 (aléa très faible) ☐ Zone 2 (aléa faible) ☐ Zone 3 (aléa modéré) ☒ Zone 4 (aléa moyen)

6.4. Historique connu

L'étude d'Avant-Projet modificatif (réf.1) retrace l'historique des digues à partir de différents documents d'époque (Archives Départementales, cadastre Sarde, ...).

Les travaux d'endiguement de la Leysse dateraient de la période 1866-1870. La largeur du lit mineur est alors fixée à 10 m et une risberme protégée par un perré en pierre sèche est créée.

D'importants curages et des travaux de réhausse ont lieu en 1952. Certains talus amont sont protégés par des gabions.

Entre 1975 et 1978, une conduite 1200 mm de diamètre est mise en œuvre dans le corps de digue sur la partie amont de la rive droite dans le cadre des travaux des rejets d'assainissement de l'agglomération vers le Rhône.

Des travaux de confortement des berges et d'aménagement de pistes d'exploitation en crête des digues sont réalisés entre 1982 et 1985 sur l'ensemble du linéaire.

En février 1990, la dernière crue majeure a occasionné des dommages importants sur les ouvrages avec une rupture de digue en rive droite à l'aval du pont du Tremblay.

La piste cyclable est aménagée en crête de la digue en rive droite au cours des années 1990.

Les travaux du bras de décharge de Technolac à l'aval du secteur d'étude sont réalisés en 2006. En parallèle, le tablier du pont du Tremblay est réhaussé de 80 cm pour augmenter le tirant d'air et réduire les risques de mise en charge en crue.

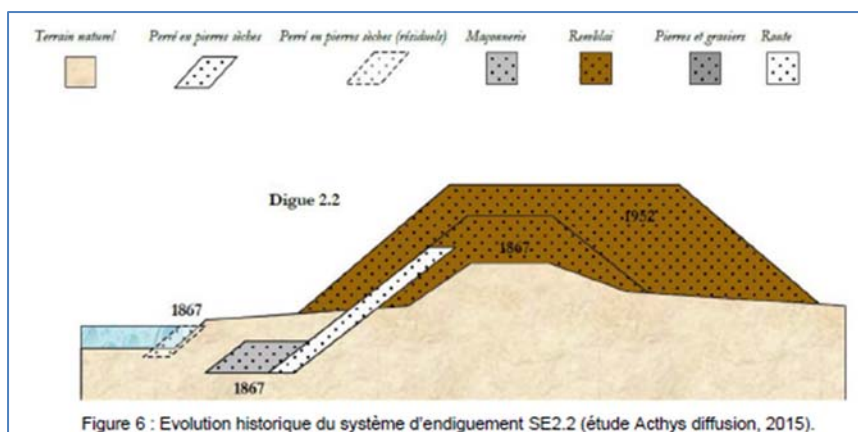
En 2018 sont réalisés les derniers travaux d'aménagement de la Leysse comprenant :

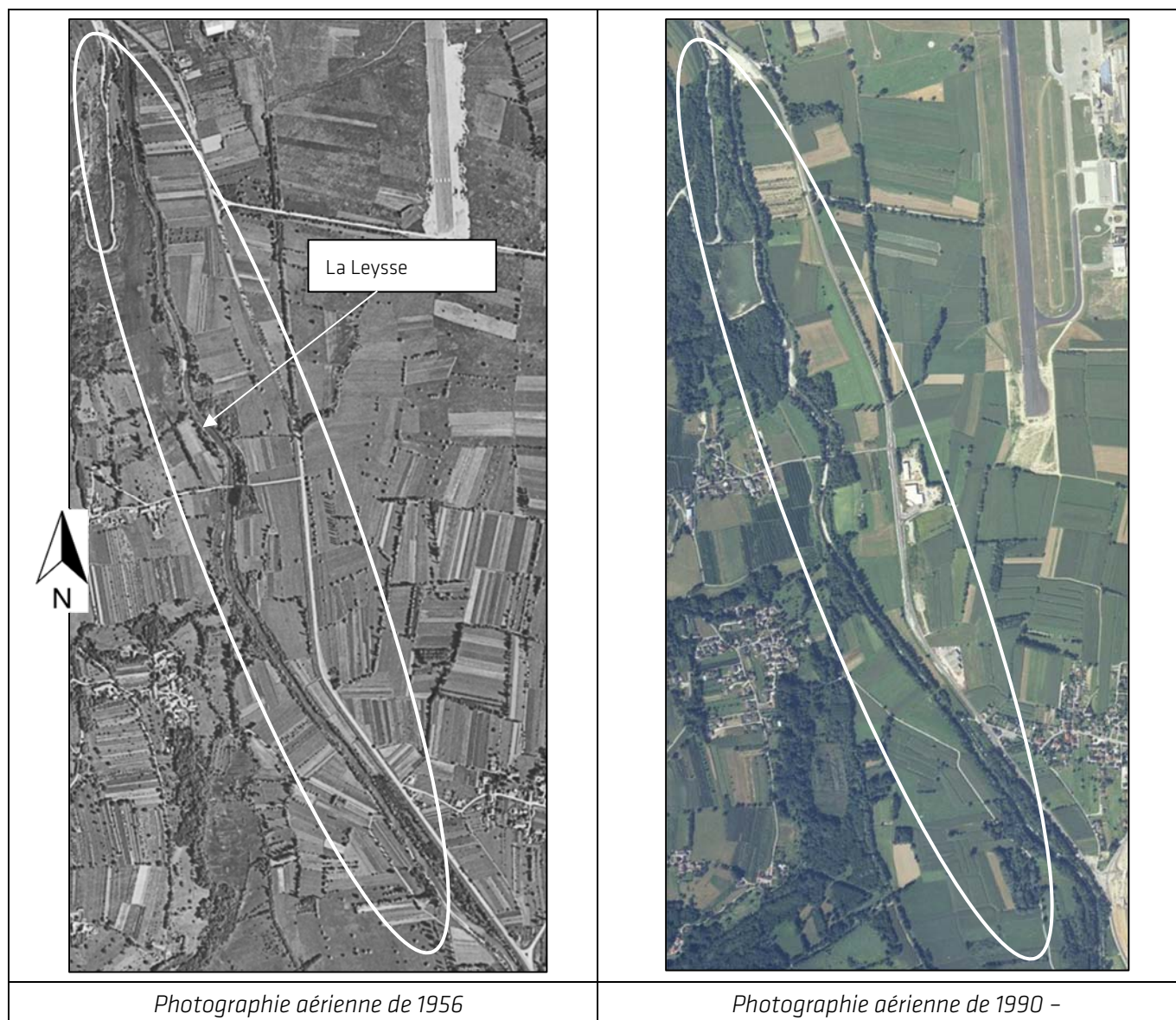
Réfection de l'endiguement en rive gauche en arrière des anciennes installations Vicat jusqu'au PKL 5.65

Déversoir du Pré-Marquis au PKL 5.95

Massif de coupure au PKL 6.05 pour dévier le lit de la Leysse jusqu'au PKL 5.65.

Les travaux successifs de confortement de l'endiguement rive droite sont récapitulés sur la figue, ci-dessous, issue de l'étude d'Acthys.





Ces photos aériennes montrent que le tracé de la Leysse a peu évolué depuis plus de 60 ans.

SYNTHESE GEOTECHNIQUE

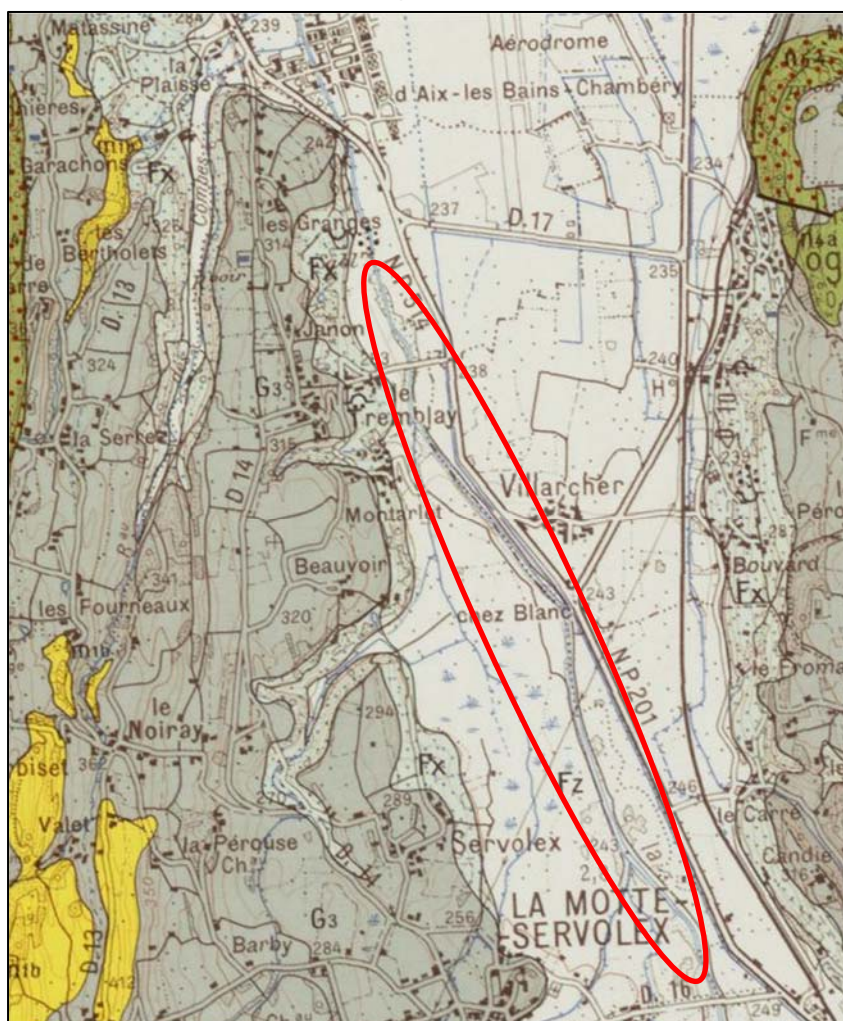
La synthèse des reconnaissances, des résultats d'enquêtes et des observations effectuées sur le site est donnée ci-après. Elle vise à apporter une représentation de la structure géotechnique du site la plus proche de la réalité possible. Cette vision est cependant par définition incomplète car basée en partie sur des sondages ponctuels, ne donnant que certaines informations partielles (par exemple uniquement visuelles, ou d'autres uniquement géomécaniques). Elle peut de ce fait ignorer ou mal évaluer la présence de certaines discontinuités ou hétérogénéités toujours possibles, le milieu naturel ne répondant pas à une logique statistique ou linéaire.

Les aléas liés à ces hétérogénéités ou discontinuités devront être précisés si besoin par des moyens de reconnaissances complémentaires, et par une intervention régulière d'un spécialiste en géotechnique au fur et à mesure de la conception et de l'exécution des ouvrages (cf. enchaînement des missions).

7. Les sols

7.1. Carte géologique

D'après la carte géologique de Chambéry (BRGM) au 1/50 000, le terrain se situe dans un contexte d'alluvions fluviales moderne (Fz) de la Lysse, constituées d'argiles tourbeuses et tourbes.



Extrait de la carte géologique de Chambéry (source : BRGM)

7.2. Maquette géologique pour l'ensemble du tracé

L'ensemble des sondages, effectués sur les digues existantes en rives droite et gauche ainsi que sur le tracé de la future digue en rive gauche, ont mis en évidence les formations principales suivantes :

➤ Formation **0** : Formation de couverture constituée de terre végétale ou d'enrobé.

➤ Formation **1** : Remblai de corps de digue.

Il s'agit de remblais, constitués probablement par des matériaux de curage du lit de la Leyse et mise en œuvre lors des travaux d'endiguement de la Leyse et les travaux de confortement successifs. Il est difficile de les différencier visuellement des matériaux d'assise en place. Les paramètres de forage et les sondages pénétrométriques permettent de les distinguer.

Cette formation peut être décomposée en 2 horizons :

- **1a** : *Sable limoneux, argileux par endroit, avec graviers*, mise en évidence plutôt au droit de la digue en rive droite.



Echantillon S2-SC5 entre 1.0 et 2.5m

- **1b** : *Grave sableuse plus ou moins limoneuse*, mise en évidence quasiment dans tous les sondages réalisés au droit de la digue en rive gauche et dans quelques sondages en rive droite.



Echantillon SC9 entre 2.5 et 4.0m

On retrouve également sur plusieurs sondages, une alternance de ces 2 horizons.

➤ Formation **2** : Grave avec quelques galets

Il s'agit de grave sableuse brune en place. Cette couche n'a pas été systématiquement rencontrée. On la retrouve localement en assise des digues et parfois sous les formations limoneuses ou argileuses.



Echantillon SC6 entre 1.0 et 2.3m

➤ **Formation 3 : Limon sableux ou sable limoneux**

Cette formation est constituée de limon sableux ou sable limoneux brun pouvant parfois contenir des lentilles argileuses.

Au droit du tracé de la future digue en rive gauche, plusieurs sondages ont mis en évidence cette formation en tête directement sous la formation de couverture.



Echantillon SC4 entre 1.0 et 1.4m

➤ **Formation 4 : Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse**

Cette formation est constituée d'argile plus ou moins sableuse et plus ou moins limoneuse, marron/ beige. Des graviers et galets peuvent être rencontrés. Quelques forages ont mis en évidence la présence locale de lentilles sableuses ou limono-sableuses.



Echantillon SC3 entre 2.5 et 3.5m

La lithologie est décrite plus précisément pour chaque rive ci-après :

7.3. Lithologie en Rive droite

Les sondages S2-SC1 à S2-SC6, S2-SD2, S2-PD9 et S2-PD10 ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

➤ **Formation 0 : Formation de couverture constituée de terre végétale ou d'enrobé.**

Les forages carottés S2-SC1, S2-SC3 et S2-SC6 ont mis en évidence 10 à 20 cm de terre végétale.

➤ **Formation 1 : Remblai de corps de digue.**

Les forages carottés S2-SC2, S2-SC3 et S2-SC5 ont mis en évidence des sables limoneux ou des limons sableux avec quelques graviers (horizon 1a) jusqu'à 2.5 m à 3.5 m de profondeur.

Les forages S1-SC1, S2-SC5 et S2-SC6 ont rencontré une alternance de cet horizon 1a avec l'horizon 1b constitué de graves sablo-limoneuse, jusqu'à 1 m de profondeur en S2-SC6 et 3.6 m à 4.0 m pour les 2 autres sondages.

Cette formation correspond au sol de résistance hétérogène, compacte en tête jusqu'à 1.0 à 1.2 m de profondeur, puis de compacité moyenne, identifiée au droit des essais de pénétration S2-PD9 et S2-PD10.

➤ Formation **2** : Grave avec quelques galets

Cette formation est composée de graviers dans une matrice sablo-limoneuse.

Elle a été rencontrée seulement au droit des sondages S2-SC2 et S2-SC4, jusqu'à 5.2 et 6.5 m de profondeur.

Elle correspond au sol de bonne résistance identifiée au droit du sondage S2-PD10 entre 2.9 et 4.0 m de profondeur.

Le profil longitudinal réalisé par la méthode du panneau électrique a mis en évidence la présence d'un horizon graveleux ou sablo-graveleux sur des épaisseurs variant de 2 à 8m, sur la partie Sud de la digue entre le PKL 6.2 et PKL 5.0.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation 2 au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	S2-SC1 (241.2)	S2-SC2 (248.5)	S2-SC3 (245.2)	S2-SC4 (244.6)	S2-SC5 (243.0)	S2-SC6 (241.7)	S2-PD9 (243.2)	S2-PD10 (242.1)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	/	3.5	/	4.0	/	/	/	2.9**
Cote correspondante (en m NGF normal)	/	245.0	/	240.65	/	/	/	241.2**

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

➤ Formation **3** : Limon sableux ou sable limoneux

Cette formation est constituée de limon sableux ou de sable plus ou moins limoneux, avec quelques graviers.

Elle a été rencontrée dans tous les sondages, à l'exception du S2-SC2, en général sous la formation **1** de remblai de digue.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation 3 au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	S2-SC1 (241.2)	S2-SC2 (248.5)	S2-SC3 (245.2)	S2-SC4 (244.6)	S2-SC5 (243.0)	S2-SC6 (241.7)	S2-PD9 (243.2)	S2-PD10 (242.1)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	3.6	/	3.1	5.2	2.5	1.0	2.6	4.0
Cote correspondante (en m NGF normal)	246.0	/	242.15	239.45	240.55	240.7	240.6	238.1

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

➤ **Formation [4] : Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse**

Cette formation est composée d'argile limoneuse avec quelques graviers. Elle a été rencontrée seulement sur les sondages S2-SC1 à S2-SC3 sur la partie Sud de la digue, alors que le profil longitudinal réalisé par la méthode du panneau électrique met en évidence sur cette partie Sud la présence de matériaux graveleux jusqu'à environ 10 à 12 m de profondeur.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation [4] au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	S2-SC1 (241.2)	S2-SC2 (248.5)	S2-SC3 (245.2)	S2-SC4 (244.6)	S2-SC5 (243.0)	S2-SC6 (241.7)	S2-PD9 (243.2)	S2-PD10 (242.1)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	8.4	6.5	4.7	/	/	/	/	/
Cote correspondante (en m NGF normal)	241.2	242.0	240.55	/	/	/	/	/

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

7.4. Lithologie en rive gauche

On distinguera ici la lithologie au droit de la digue en place de celle au droit du tracé de la future digue à reconstruire dans la plaine agricole.

7.4.1. Lithologie au droit de la digue en place en rive gauche

Les sondages S5-SC2 à S5-SC3, SC0, SC9, SC10, SC11, S5-TH1 à S5-TH4, S5-PD1 à S5-PD3, S5-PDm1, S5-PDm2, CPT1 à CPT8 ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

➤ **Formation [0] : Formation de couverture constituée de terre végétale ou d'enrobé.**

L'ensemble des forages ont mis en évidence 10 à 40 cm de terre végétale.

➤ **Formation [1] : Remblai de corps de digue.**

Les forages carottés ont mis en évidence des graves sablo-limoneuse avec galets [1b], jusqu'à 2.75 à 4.6m de profondeur.

Cette formation correspond au sol de compacité moyenne à bonne, identifiée au droit des essais de pénétration S5-PD1 à S5-PD3, S5-PDm1 et S5-PDm2, jusqu'à 2.6 à 5.0 m de profondeur.

➤ **Formation [2] : Grave avec quelques galets**

Cette formation est composée de graviers dans une matrice sablo-limoneuse.

Elle a été rencontrée seulement au droit du sondage SC11, sous la couche [3] de limon sableux, à partir de 4.8 m de profondeur jusqu'à la base du sondage arrêté à 5.5 m de profondeur.

➤ **Formation [3] : Limon sableux ou sable limoneux**

Cette formation est constituée de sable plus ou moins limoneux ou de limon sableux à argileux, avec quelques graviers.

Elle a été rencontrée dans tous les sondages, à l'exception du forage SC10 arrêté à 4m de profondeur dans les remblais de la digue., jusqu'à 3.7 à 5.1 m de profondeur en SC9, SC11, S5-SC2 et S5-SC3 et jusqu'à la base des forages SC0 et S5-SC1.

On retrouve en général cette formation sous la formation [1] de remblai de digue.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation de [3] au droit des sondages									
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	SC0 (243.1)	SC9 (247.45)	SC10 (246.7)	SC11 (245.05)	S5-SC2 (247.7)	S5-SC3 (247.45)	S5-PD1 (247.2)	S5-PD2 (246.8)	S5-PD3 (247.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	4.6	4.8	/	3.5	3.5	2.75	4.8**	4.8**	5.0**
Cote correspondante (en m NGF normal)	238.5	242.65	/	241.55	244.2	244.7	242.4**	242.0**	242.5**

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

➤ **Formation [4] : Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse**

Cette formation est composée d'argile limoneuse avec quelques graviers.

Elle a été rencontrée seulement sur les sondages SC9, S5-SC2 et S5-SC3 sur la partie Sud de la digue, à partir de 3.7 à 5.1 m de profondeur et jusqu'à la base des sondages arrêtée à 6.0 et 7.0 m de profondeur.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation de [4] au droit des sondages									
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	SC0 (243.1)	SC9 (247.45)	SC10 (246.7)	SC11 (245.05)	S5-SC2 (247.7)	S5-SC3 (247.45)	S5-PD1 (247.2)	S5-PD2 (246.8)	S5-PD3 (247.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	/	5.1	/	/	4.1	3.7	/	/	/
Cote correspondante (en m NGF normal)	/	242.35	/	/	243.6	243.75	/	/	/

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

7.4.2. Lithologie au droit du tracé de la future digue en rive gauche

Les sondages SC1 à SC8 et CPTu1 à CPTu8 ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

➤ **Formation [0] : Formation de couverture constituée de terre végétale ou d'enrobé.**

L'ensemble des forages ont mis en évidence 10 à 40 cm de terre végétale.

➤ **Formation [2] : Grave avec quelques galets**

Elle a été rencontrée seulement au droit du forage carotté SC05, sous la couche [3] de limon sableux, à partir de 2.65 m de profondeur jusqu'à la base du sondage arrêté à 6.0 m de profondeur et du sondage SC06 directement sous la couche superficielle, entre 0.4 m et 3.2 m de profondeur.

Cette formation correspond au sol de bonne compacité, identifiée au droit de l'essai de pénétration CPTu5, entre 2.4 et 6.0 m de profondeur et au droit des essais CPTu1 CPTu8, plus en profondeur, respectivement à partir de 6.0m et 12.5, jusqu'à la base des 2 sondages.

➤ **Formation [3] : Limon sableux ou sable limoneux**

Cette formation est constituée de sable plus ou moins limoneux ou de limon sableux à argileux, avec quelques graviers.

Elle a été rencontrée dans tous les sondages, immédiatement sous la couche superficielle 0, jusqu'à 1.6 à 2.65 m de profondeur, à l'exception du forage SC06

Cette formation correspond au sol de compacité moyenne, identifiée au droit de tous les essais de pénétration, à l'exception du CPTu6.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation de [3] au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	SC1 (241.2)	SC2 (241.85)	SC3 (242.4)	SC4 (242.55)	SC5 (242.95)	SC6 (243.05)	SC7 (244.2)	SC8 (244.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	0.15	0.2	0.9	0.1	0.1	/	0.3	0.35
Cote correspondante (en m NGF normal)	241.05	241.7	241.5	242.4	242.9	/	243.9	244.15

Toit d'apparition de la formation de [3] au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	CPTu1 (241.2)	CPTu2 (241.8)	CPTu3 (242.5)	CPTu4 (242.4)	CPTu5 (243.0)	CPTu6 (243.0)	CPTu7 (244.3)	CPTu8 (244.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	0.2	0.2	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré
Cote correspondante (en m NGF normal)	241.0	241.6	/	/	/	/	/	/

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

➤ Formation **4** : Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse

Cette formation est composée d'argile limoneuse avec des lentilles de sable limono-argileux.

Elle a été mise en évidence dans tous les sondages, à l'exception du forage SC6. Au droit des sondages SC1 et CPTu1, on retrouve également cette couche sous la formation **4** argileuse, à partir de 3.9 à 4.9 m de profondeur et jusqu'à la base de ces 2 sondages.

Cette formation correspond au sol de faible résistance, identifiée au droit de tous les essais de pénétration.

Le toit de cette formation a été reconnu aux profondeurs et cotes suivantes :

Toit d'apparition de la formation de 3 au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	SC1 (241.2)	SC2 (241.85)	SC3 (242.4)	SC4 (242.55)	SC5 (242.95)	SC6 (243.05)	SC7 (244.2)	SC8 (244.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	2.0	1.1	2.05	1.8	/	3.2	1.6	2.1
Cote correspondante (en m NGF normal)	237.2	240.75	240.3	240.8	/	239.85	242.6	242.4

Toit d'apparition de la formation de 3 au droit des sondages								
Sondage : Référence et cote (en m NGF normal)	CPTu1 (241.2)	CPTu2 (241.8)	CPTu3 (242.5)	CPTu4 (242.4)	CPTu5 (243.0)	CPTu6 (243.0)	CPTu7 (244.3)	CPTu8 (244.5)
Profondeur d'apparition du toit de la formation (en m/-TA)	2.0	1.4	1.8	1.8	6.0	2.0	2.8	2.0
Cote correspondante (en m NGF normal)	239.2	240.4	240.7	240.6	237.0	241.0	241.5	242.5

* : ces profondeurs et cotes sont basées sur des variations de résistance au pénétromètre

8. Résultats des essais en laboratoire

8.1. Essais d'identification

Les résultats des essais d'identifications réalisés sur les échantillons intacts prélevés dans les forages carottés en 2016 et 2022 sont récapitulés dans le tableau suivant. Les résultats complets des essais réalisés en 2022 sont en annexe de cette note.

Echantillons								Teneur en eau			Argilosité	Granulo/ sédimento	
Lithologie	sondage	Zone	cote sondage	profondeur échantillon (m)		altitude échantillon (NGF)		Wn	ph	pd	VBS	Dmax	GTR
				début	fin	début	fin	%	t/m3	t/m3	g/100g	mm	
Remblai de corps de digue 1a: Sable limoneux à argileux, avec graviers	S2-SC1	RD	249,6	2,9	3,4	246,7	246,2	17,7			1,35	79,00	C1A1
	S2-SC2	RD	248,58	1,3	2,5	247,3	246,1	0,7			0,21	61,60	B5
	S2-SC3	RD	245,2	1,0	2,0	244,2	243,2	5,2			0,30	65,30	C1B5
	S2-SC4	RD	244,65	3,6	4,0	241,1	240,7	20,4			1,11	0,40	C1B5
	S2-SC5	RD	243,55	1,0	2,5	242,6	241,1	5,8			0,12	62,00	B5
Remblai de corps de digue 1b: Grave sableuse plus ou moins limoneuse	SC9	RG	247,45	0,2	1,5	247,3	246,0	2,1			0,03	71,00	D3
	SC9	RG	247,45	2,3	2,6	245,2	244,9	2,1			0,08	58,80	D3
	SC9	RG	247,5	3,1	4,2	244,4	243,3	2,0			0,09	56,80	D3
	S5-SC2	RG	247,7	1,0	2,0	246,7	245,7	3,7			0,20	86,60	C1B5
	S5-SC3	RG	247,5	1,0	2,5	246,5	245,0	4,2			0,15	64	C1B5
	S2-SC1	RD	249,60	2,4	2,9	247,2	246,7	4,4				53,00	
	S2-SC4	RD	244,65	1,4	2,5	243,3	242,2	10,2			47,00	58,30	C1B5
2: Grave avec quelques galets	SC6	RG	243,03	2,0	2,5	241,0	240,5	7,2			0,05	34,40	D2
	S2-SC2	RD	248,58	4,4	5,5	244,2	243,1	3,8			0,28	72,10	C1B4
3: limon sableux ou sable limoneux	SC1	RG	241,2	0,3	1,0	240,9	240,2	17,9			1,79	0,2	A1
	SC1	RG	241,2	2,3	2,7	238,9	238,5	26,3			1,78	0,2	A1
	SC7	RG	244,21	0,4	1,6	243,9	242,6	13,8			1,23	0,4	A1
	SC8	RG	244,5	0,5	1,0	244,1	243,5	26,1			1,7	0,1	A1
	SC3	RG	242,4	1,1	1,8	241,4	240,7	22,4			0,85	5,4	A1
	S2-SC1	RD	249,6	3,8	4,2	245,8	245,4	25,2	1,98	1,57	0,99	38,7	A1
	S2-SC1	RD	249,6	5,0	5,4	244,6	244,2	23,4	2,05	1,68	1,51	20	A1
	S2-SC3	RD	245,2	4,0	4,7	241,2	240,5	11,1			0,51	49,8	B5
	S2-SC3	RD	245,2	6,1	6,2	239,1	239,0	26,5	2	1,57	1,82	0,4	A1
	S2-SC4	RD	244,65	5,5	7,0	239,2	237,7	5,5			0,17	54,4	B5
	S2-SC5	RD	243,55	3,1	3,3	240,5	240,2	25,4	2,04	1,67	1,65	1	A1
	S2-SC6	RD	241,7	1,0	2,0	240,7	239,7	11			0,57	1	A1
	S2-SC6	RD	241,7	6,0	7,0	235,7	234,7	20,4			0,99	1	B5
4: Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse	SC2	RG	241,85	1,5	2,5	240,35	239,35	24			1,58	0,2	A1
	SC3	RG	242,38	3	4	239,38	238,38	28,5			1,77	0,1	A1
	SC8	RG	244,5	3,3	3,8	241,25	240,7	30,4			2,85	<0,08	A2
	S5-SC3	RG	247,45	5,5	6,5	241,95	240,95	4,4			0,14	89,4	C1B3

Les résultats de ces essais d'identification permettent l'analyse suivante pour chaque couche de sol :

- **Sable limoneux à argileux avec graviers (remblai de corps de digue 1a) :**
- Sur 5 échantillons, 80% sont de classe B5 et C1B5 (sables et graves très silteux, à matrice argileuse pour certains). 1 seul échantillon est de classe C1A1 (argile limoneuse, sableuse).
- **Grave sableuse plus ou moins limoneuse (remblai de corps de digue 1b) :**
- Ces remblais graveleux sont de classe D3 (graves alluvionnaires sans cohésion et perméables) et de classe C1B5 (sables et graves dans une matrice argileuse).
- **Grave avec quelques galets 2 :**
- L'échantillon prélevé en rive gauche est de classe D2 (graves alluvionnaires propres). Ce sol est sans cohésion et perméable. L'échantillon prélevé en rive droite est de classe C1B4 (graves dans matrice argileuse).
- **Limon sableux ou sable limoneux 3 :**
- Sur 13 échantillons, 77% sont de classe A1 (limons peu plastiques, lœss, silts alluvionnaires, sables fins). Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.
- 23 % sont de classe B5 (sables et graves très silteux) dont leur comportement se rapproche d'un sol A1.

- **Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse** 4 :
3 échantillons sur 4 sont de classe A1 et A2 (sils alluvionnaires, sables fins, sables fins argileux, argile, limons argileux), donc des matériaux fins sensibles à l'eau. 1 échantillon est de classe C1B3 (argile avec graves), dont le comportement est proche des matériaux A1 et A2.

Concernant le site de stockage du viviers :

Echantillon			Teneur en eau	Argilosité	Granulo/ sédimento	
Sondage	Profondeur échantillon (m)		Wn	VBS	Dmax	GTR
	début	fin	%	g/100g	mm	
P1	0,5	0,7	11,9	0,91	45,10	B5
P2	0,7	1,1	35,8	1,63	0,50	A1
P3	1,0	1,3	25,7	1,58	0,10	A1
P4	0,5	0,8	29,4	2,72	1,00	A2
P5	0,5	0,7	42,6	3,49	0,80	A2

NOTA : Compte tenu de notre campagne de prélèvement les points suivants sont à prendre en compte :

- Une couverture graveleuse de 0.5 m quasi généralisée aux endroits de prélèvement.
- Une couverture végétale sur la totalité du stock broussailleuse en partie basse et arbustive à arborée en partie haute.
- Une impossibilité de prélèvement sur les parties hautes compte tenu du couvert végétal impénétrable.
- Sur les parties prélevées en dessous des graves nous avons des matériaux caractérisés en A1 et A2 avec 1 en B5 (5 prélèvements répartis sur les zones accessibles à différentes profondeurs cf. pdf joint)
- Un réseau racinaire dont on ne connaît pas l'extension en profondeur et pouvant rendre impropre les matériaux à la réutilisation mais reconnu jusqu'à 0.5 m de profondeur sur chaque point de prélèvement.

Ainsi, selon notre analyse et objectivement, un stock de matériaux A1/A2 est disponible mais à ce jour il est difficile d'en évaluer le volume disponible et réutilisable. Seule une partie a pu être investiguée.

8.2. Essais chimiques pour acceptation en ISDI

Les résultats des essais ISDI sont joint en annexe.

D'après les résultats des essais et l'arrêté du 12/12/14, les matériaux sont inertes. Ils peuvent être réutilisés sur site ou être évacués en décharge.

9. L'eau souterraine

9.1. Résultat des mesures et enquête

Les niveaux d'eau mesurés sont résumés dans le tableau ci-après :

Niveaux d'eau mesurés dans les forages carottés en rive droite						
Sondage référence n°	S2-SC1	S2-SC2	S2-SC3	S2-SC4	S2-SC5	S2-SC6
Date du relevé	Mars 2016	Septembre 2015				
Cote du sondage (m NGF)	241.2	248.5	245.2	244.6	243.0	241.7
Niveau d'apparition (m/TA)	3.4	2.8	2.85	2.8	2.9	2.9
Cote correspondante (en m NGF)	237.8	245.7	242.35	241.8	240.1	238.8

Tableau récapitulatif des niveaux d'eau mesurés dans les sondages en rive droite réalisés en 2015 et 2016

Niveaux d'eau mesurés dans les forages carottés en rive gauche							
Sondage référence n°	S5-SC2	S5-SC3	SC0	SC1	SC2	SC3	SC4
Date du relevé	Janvier 2016		Juin 2022				
Cote du sondage (m NGF)	247.7	247.45	243.1	241.2	241.85	242.4	242.55
Niveau d'apparition (m/TA)	3.3	3.2	Néant	3.6	Néant	3.3	3.2
Cote correspondante (en m NGF)	244.4	244.25	/	237.6	/	239.1	239.35

Tableau récapitulatif des niveaux d'eau mesurés dans les sondages en rive gauche réalisés en 2015 et 2022

Niveaux d'eau mesurés dans les forages carottés en rive gauche							
Sondage référence n°	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11
Date du relevé	Juin 2022						
Cote du sondage (m NGF)	242.95	243.05	244.2	244.5	247.45	246.7	245.05
Niveau d'apparition (m/TA)	Néant	3.8	3.4	3.1	4.3	Néant	Néant
Cote correspondante (en m NGF)	/	239.25	240.8	241.4	243.15	/	/

Tableau récapitulatif des niveaux d'eau mesurés dans les sondages en rive gauche réalisés en 2022

Niveaux d'eau mesurés dans les sondages pénétrométriques en rive gauche								
Sondage référence n°	CPTu1	CPTu2	CPTu3	CPTu4	CPTu5	CPTu6	CPTu7	CPTu8
Date du relevé	Juin 2022							
Cote du sondage (m NGF)	241.2	241.8	242.5	242.4	243.0	243.0	244.3	244.5
Niveau d'apparition (m/TA)	1.3	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	2.4	1.1
Cote correspondante (en m NGF)	239.9	240.1	239.8	240.7	241.3	241.3	241.9	243.4

Tableau récapitulatif des niveaux d'eau mesurés dans les sondages en rive gauche réalisés en 2015 et 2022

9.2. Synthèse hydrogéologique

➤ Le contexte hydrogéologique du site est marqué par :

- Une nappe étroitement liée au niveau de la Leyse.
- La présence possible de circulations d'eau susceptibles d'apparaître selon des cheminements préférentiels (par exemple au sein de chenaux plus graveleux ou aux interfaces de faciès), et de façon intermittente dans le temps (par exemple en période pluvieuse continue).
- Pour mémoire, le printemps et été 2022, pendant lesquels ont été réalisés les sondages au démarrage de la G2 PRO, ont été particulièrement sec.

9.3. Perméabilité des sols

La perméabilité des différents faciès a été estimée à partir des essais d'eau réalisés.

9.3.1. Essais d'eau réalisés en rive droite

Lors de la campagne de reconnaissances de 2016, 4 essais d'eau de type Lefranc ont été réalisés. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Valeurs issues d'essai in-situ					
Description	Horizon	Essai réalisé	Sondage	Profondeur de l'essai (m)	Coefficient de perméabilité k
Sable limoneux à cailloutis	3	Lefranc	S2-SC3	2.0 à 3.0	1.8×10^{-6}
Limon à sable fin	3	Lefranc	S2-SC3	6.0 à 7.0	7.4×10^{-6}
Sable limoneux à limon sableux	3	Lefranc	S2-SC5	2.0 à 3.0	2.0×10^{-6}
Limon sableux à cailloutis	3	Lefranc	S2-SC5	6.0 à 7.0	2.0×10^{-5}

Bilan :

Les valeurs mesurées témoignent d'une perméabilité faible à moyenne dans les horizons limono-sableux ou sable limoneux 3.

9.3.2. Essais d'eau en rive gauche

Lors de la campagne de reconnaissance 2022, il a été réalisé 9 essais de perméabilité in-situ dont les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Valeurs issues d'essais in-situ					
Description	Horizon	Essai	Sondage	Profondeur de l'essai (m)	Coefficient de perméabilité k (m/s)
Argile limono-sableuse	3 et 4	Nasberg	SC01	1.5 à 2.5	3.8×10^{-6}
Argile sableuse	4	Lefranc	SC02	1.5 à 2.5	5×10^{-6}
Argile plus ou moins sableuse	4	Nasberg	SC02	4.0 à 5.0	1.4×10^{-5}
Limon sableux à argile	3 et 4	Nasberg	SC03	1.5 à 2.5	4.6×10^{-6}
Limon argileux à argile	3 et 4	Nasberg	SC04	1.5 à 2.5	5.3×10^{-6}
Limon argileux à argile	3	Lefranc	SC05	1.5 à 2.5	2.5×10^{-5}
Sable à grave sableuse	2	Nasberg	SC06	1.5 à 2.5	2.0×10^{-4}
Argile limono-sableuse à sable limoneux	3 et 4	Nasberg	SC07	1.5 à 2.5	4.7×10^{-7}
Limon argileux à argile	3	Nasberg	SC08	1.5 à 2.5 m	2.6×10^{-5}

Bilan :

Les valeurs mesurées témoignent d'une perméabilité faible à moyenne dans les horizons argileux et limono sableux à argileux 3 et 4.

Un seul essai a été réalisé dans l'horizon 2 de graves. Il met en évidence une perméabilité élevée.

Les corrélations de Robertson à partir des données du CPT permettent d'estimer la perméabilité horizontale Kh de la couche traversée.

Valeurs issues des essais CPT									
Faciès		Perméabilité Kh (m/s)							
N° horizon	Lithologie	CPTu1	CPTu2	CPTu3	CPTu4	CPTu5	CPTu6	CPTu7	CPTu8
2	Grave avec quelques galets	1×10^{-4}	/	/	/	5×10^{-4}	5×10^{-4}	/	/
3	Limon sableux ou sable limoneux	1×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-7}	1×10^{-6}	/	/	5×10^{-7}	5×10^{-7}
4	Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse	1×10^{-8}	1×10^{-8}	1×10^{-8}	1×10^{-8}	1×10^{-9}	1×10^{-8} à 1×10^{-9}	1×10^{-8} à 1×10^{-9}	1×10^{-8}

Nota important : Ces essais sont ponctuels et ont été réalisés dans l'optique de dimensionnement d'ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ; ils mesurent *la perméabilité en petit*. Dans le cas de nécessité de dimensionnement d'ouvrage de pompage ou de rabattement de nappe, seul un essai de pompage mesurant *la perméabilité en grand* du massif permettrait d'obtenir une estimation raisonnable des débits à prévoir ; cette perméabilité en grand peut être très différente de celle mesurée ponctuellement.

10. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques des sols en place

Les caractéristiques géomécaniques mesurées et correspondant à l'organisation géologique décrite précédemment, sont données dans le tableau récapitulatif ci-après. Les données qui suivent ont pour objet de préciser les hypothèses de calcul pour la justification des ouvrages.

10.1. Caractéristiques géotechniques

Synthèse des valeurs des essais in situ proposées au stade Projet			
Faciès		Pénétrromètre dynamique	Pénétrromètre statique
N° horizon	Lithologie	Résistance de pointe q_d (MPa)	Résistance de pointe q_c (MPa)
0	Formation de couverture	[1.0 à 4.0] 2.5 MPa	[1.0 à 4.0] 2.0 MPa
1a	Remblai de corps de digue Sable limoneux	[0.7 à 2.0 MPa] 0.9 MPa	Pas de valeur
1b	Remblai de corps de digue Grave sableuse	[2.0 à 25.0 MPa] 5.0 MPa	Pas de valeur
2	Grave avec quelques galets	[10 à 25.0 MPa] 15 MPa	[2.0 à 30.0] 8.0 MPa
3	Limon sableux ou sable limoneux	[1.0 à 8.7 MPa] 2.0 MPa	[0.5 à 5.0] 1.0 MPa
4	Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse	[0.6 à 1.2 MPa] 0.9 MPa	[0.1 à 2.0] 0.5 MPa

- [] : Fourchette de valeurs mesurées
- xx : Valeur représentative proposée en phase Projet

10.2. Caractéristiques géomécaniques

10.2.1. Résultats des essais de cisaillement

Lors de la campagne de reconnaissances réalisés en 2016 par Hydrogéotechnique, des essais de cisaillement ont été réalisés sur des échantillons intacts. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Valeurs issues d'essai en laboratoire							
Description	Horizon	Sondage	Profondeur de l'essai (m)	c' (kPa)		φ' (°)	
				c' _p	c' _r	φ'_p	φ'_r
Sable limoneux avec graviers	3	S2-SC1	3.9	8	8	34.7	34.6
Sable limoneux avec graviers	1a	S2-SC2	1.85	6	7	33	33
Grave sablo-limoneuse	2	S2-SC2	4.75	6	0	37	33
Limon sableux à passages argileux	3	S2-SC3	6.3	15	13	26	24
Limon sableux avec graviers	1a/1b	S2-SC4	3.8	12	5	32	32
Sable	3	S2-SC6	6.5	3	0	29	28.1
Argile limoneuse	4	S5-SC1	5.7	9	7	33.4	33.6

Ces valeurs issues des essais de cisaillement sont à prendre avec précaution.

10.2.2. Corrélations avec les résultats des CPT

Des corrélations permettent d'estimer certains paramètres géomécaniques à partir des résultats des essais CPT. Ces corrélations fournissent des ordres de grandeur à prendre avec précautions.

- Pour des sols cohérents (ici horizon 4), ces corrélations permettent d'estimer notamment le rapport de surconsolidation OCR et l'angle de frottement effectif φ' .
- Pour des sols frottants (ici horizon 2 et 3), elles permettent d'estimer le module d'Young E_s et l'angle de frottement φ .

Faciès		Essais	Caractéristiques géomécaniques estimées à partir des essais CPT			
N° horizon	Lithologie		OCR	Es (MPa)	Angle de frottement φ (°)	Angle de frottement effectif φ' (°)
2	Grave avec quelques galets	CPTu1	/	30 à 150	35 à 45	/
		CPTu2	/	/	/	/
		CPTu3	/	/	/	/
		CPTu4	/	/	/	/
		CPTu5	/	30 à 150	36 à 45	/
		CPTu6	/	20 à 30	33 à 35	/
		CPTu7	/	/	/	/
		CPTu8	/	25 à 120	33 à 47	/
3	Limon sableux ou sable limoneux	CPTu1	/	25 à 30	37 à 41	/
		CPTu2	/	15 à 25	35 à 43	/
		CPTu3	/	15 à 20	32 à 35	/
		CPTu4	/	10 à 20	32 à 37	/
		CPTu5	/	20 à 40	31 à 35	/
		CPTu6	/	/	/	/
		CPTu7	/	20 à 40	32 à 34	/
		CPTu8	/	15	32 à 34	/
4	Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse	CPTu1	2 à 5	/	/	24 à 35
		CPTu2	1 à 4	/	/	24 à 34
		CPTu3	1 à 4	/	/	25 à 33
		CPTu4	1 à 5	/	/	25 à 32
		CPTu5	1 à 3	/	/	26 à 33
		CPTu6	1 à 4	/	/	26 à 32
		CPTu7	1 à 4	/	/	25 à 33
		CPTu8	2 à 4	/	/	27 à 33

11. Risques sismiques – Données réglementaires

Les normes et documents réglementaires utilisables sont les suivants :

NF EN 1998-1, 1998-5 : Règles de l'Eurocode 8 - « Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, soutènements et aspects géotechnique ».

La zone de sismicité (selon décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010).

Les principales données parasismiques déduites des éléments précédents, permettent de retenir :

- Zone de sismicité : Zone 4 (aléa moyen).
- Paramètres géotechniques - Application des règles de l'Eurocode 8.
- Classe de sols - Application des règles de l'Eurocode 8

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Coefficient d'amplification S
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	1,5

DONNEES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

12. Données hydrologiques

Afin d'étudier la stabilité au glissement et à l'érosion interne des digues de la Leyse, il convient dans un premier temps de déterminer les écoulements et les champs des pressions interstitielles se développant dans le corps de digue et dans les terrains d'assise. Cette détermination est réalisée via une modélisation numérique en régime transitoire au moyen du logiciel Plaxis. Elle tient compte de la variation temporelle du niveau du cours d'eau en amont du système d'endiguement.

Les champs de pression interstitielle pour les phases les plus critiques pour la stabilité au glissement sont importées dans le logiciel Talren pour réaliser les vérifications de stabilité au glissement. Ces phases sont les suivantes :

- o niveau d'eau quasi-permanent,
- o fin de la montée de la crue,
- o fin de la décrue.

Les calculs d'écoulement sont réalisés en tenant compte des niveaux du cours d'eau lors des épisodes de crue. Ces niveaux sont définis sous formes de limnigrammes (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) pour l'occurrence de crue de projet (Q100).

Ces limnigrammes sont fournis sous la forme d'un tableur Excel indiquant la cote de la Leyse, pour 28 points le long du linéaire d'étude (espacés d'environ 100 m) sur une durée de 34h ($t_0=15h$) avec un pas de temps de 5 min. On retient le limnigramme du point situé le plus proche de la coupe de calcul retenue. Afin d'intégrer ces données dans le logiciel Plaxis, il est nécessaire de réduire le nombre de valeurs décrivant les variations du niveau du cours. La courbe limnimétrique retenue est donc simplifiée en ne retenant que 5 à 10 instants (t_i) représentatifs des variations du niveau de la Leyse sur la durée de la crue. Ces instants représentatifs comprennent notamment le début et la fin du limnigramme fourni ainsi que le pic de la crue.

En l'absence de données plus détaillées, les niveaux de la nappe dans le terrain côté aval, sont définis sur la base des niveaux de la nappe relevée lors des reconnaissances géotechniques et tenant compte du niveau d'étiage (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les calculs de stabilité au glissement sont réalisés selon la méthode de Bishop en appliquant les coefficients partiels définis dans les recommandations du CFBR **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Situation	Niveau nappe correspondant	Coefficient partiel γ_m sur c' et $\tan\phi'$	Coefficient partiel γ_m sur le poids volumique	Coefficient de modèle γ_d
Normale d'exploitation	Niveau constant, début phase de crue	1,25	1	1,2
Exceptionnelle de crue (PHE)	Q100	1,1	1	1,2

A noter que la crue Q100 est considérée comme Exceptionnelle par cohérence pour l'ensemble du système d'endiguement bien qu'elle soit plutôt Extrême pour la rive gauche au sens des recommandations du CFBR.

Les caractéristiques de cisaillement utilisés pour ces calculs de stabilité sont ceux présentés au § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Pour les problématiques d'érosion interne, nous tiendrons compte des travaux du projet national ERINOH et notamment le guide « Méthodologie de reconnaissance et de diagnostic de l'érosion interne des ouvrages hydrauliques en remblai ». La modélisation des écoulements en régime transitoire permettra d'accéder aux champs de vitesse et de gradient hydraulique et donc d'analyser plus finement les risques d'érosion interne en termes :

- o Boullance/soulèvement hydraulique,
- o Suffusion,
- o érosion de contact,
- o érosion de conduit/régressive.

MAQUETTE GEOTECHNIQUE COUPES DE CALCUL RETENUES

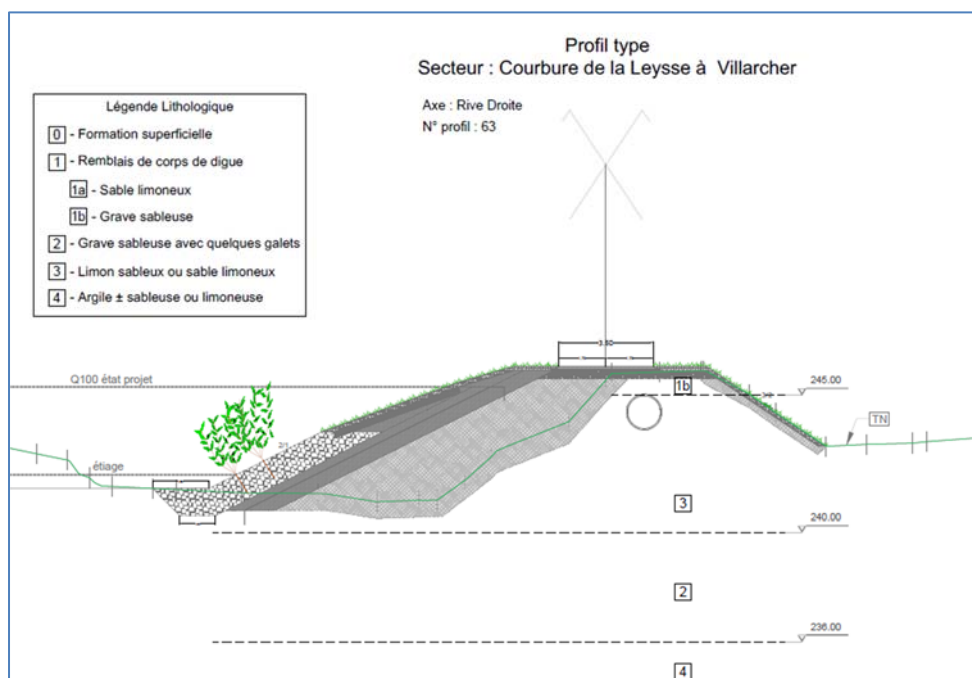
13. Coupes lithologiques retenues

13.1. Coupes lithologiques en rive droite

Nous proposons d'étudier 4 coupes de calcul avec la lithologie suivante :

- Coupe courante au niveau de la zone de courbure de la Leyse à Villarcher :

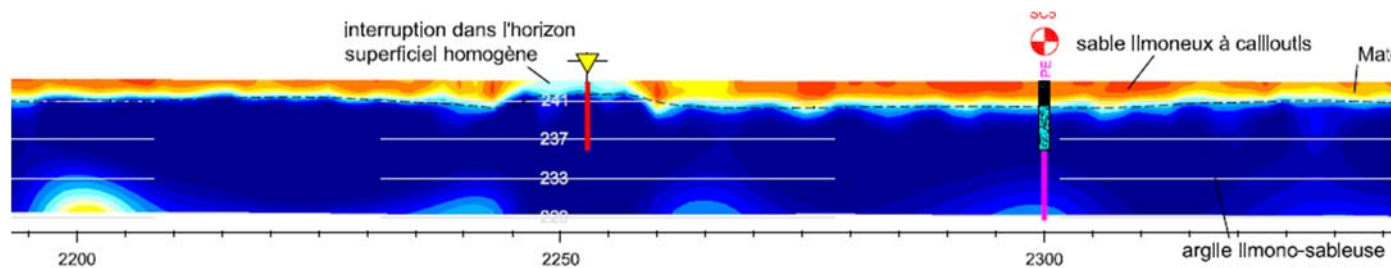
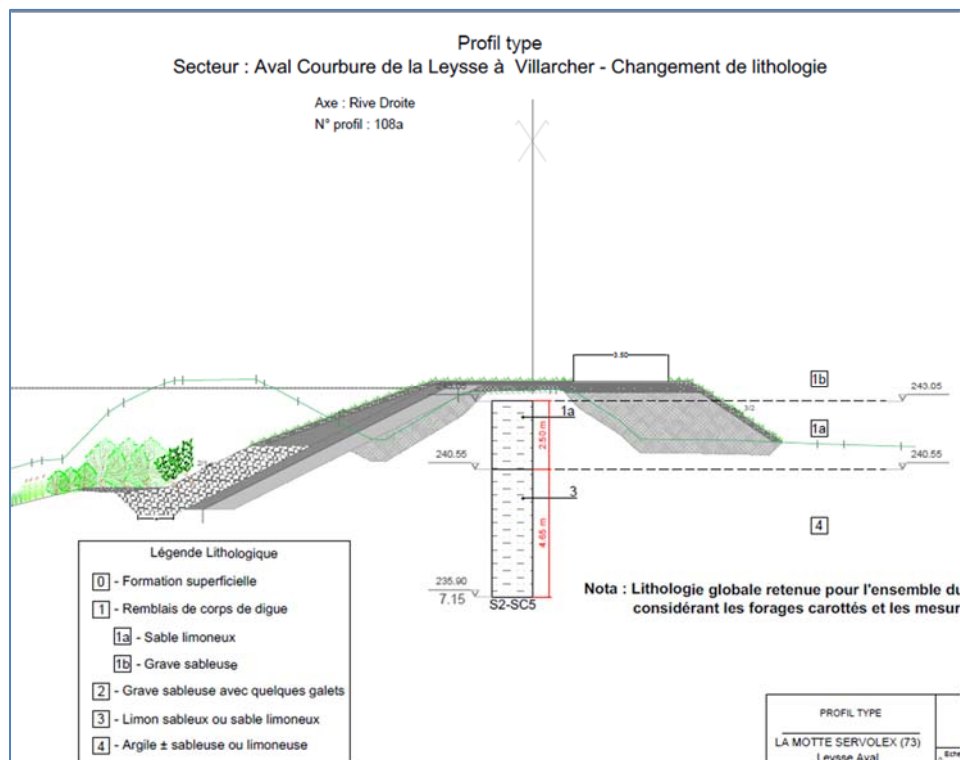
La succession lithologique déterminée pour cette coupe courante figure sur la coupe ci-dessous. Elle est valable sur le linéaire de 2.8 km, hors linéaires intéressés par les 3 coupes particulières suivantes.



Pour cette coupe courante, il sera pris en compte un niveau de nappe en situation courante à 242.0 mNGF.

➤ Coupe particulière 1 : changement de lithologie :

Les mesures géophysiques notamment ont mis en évidence un changement de lithologie sur environ 150 m entre les PKL 4.9 et PKL 3.8. L'horizon de grave sableuse à galets [2] ne serait pas rencontré ou dans une moindre mesure. Bien que le sondage carotté S2-SC5 ait mis en évidence plutôt des limons sableux de la formation [3], le profil géophysique fait ressortir la présence de formation plutôt argileuse, telle que la formation [4]. Nous proposons donc de retenir la succession lithologique suivante :



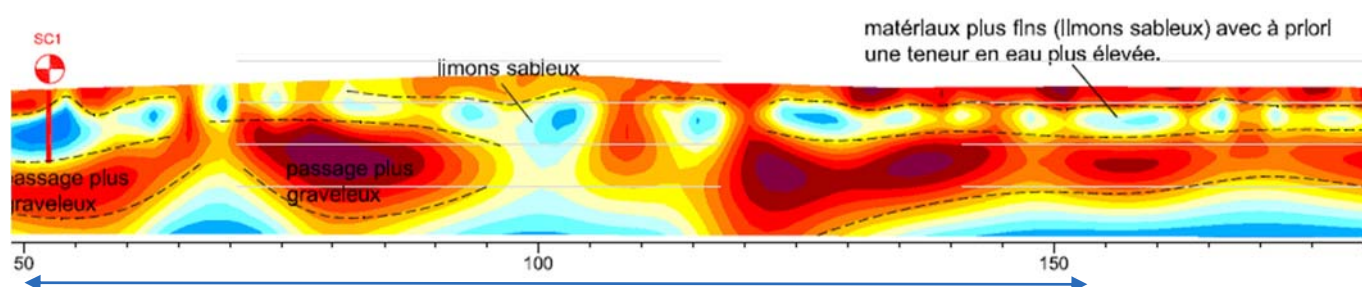
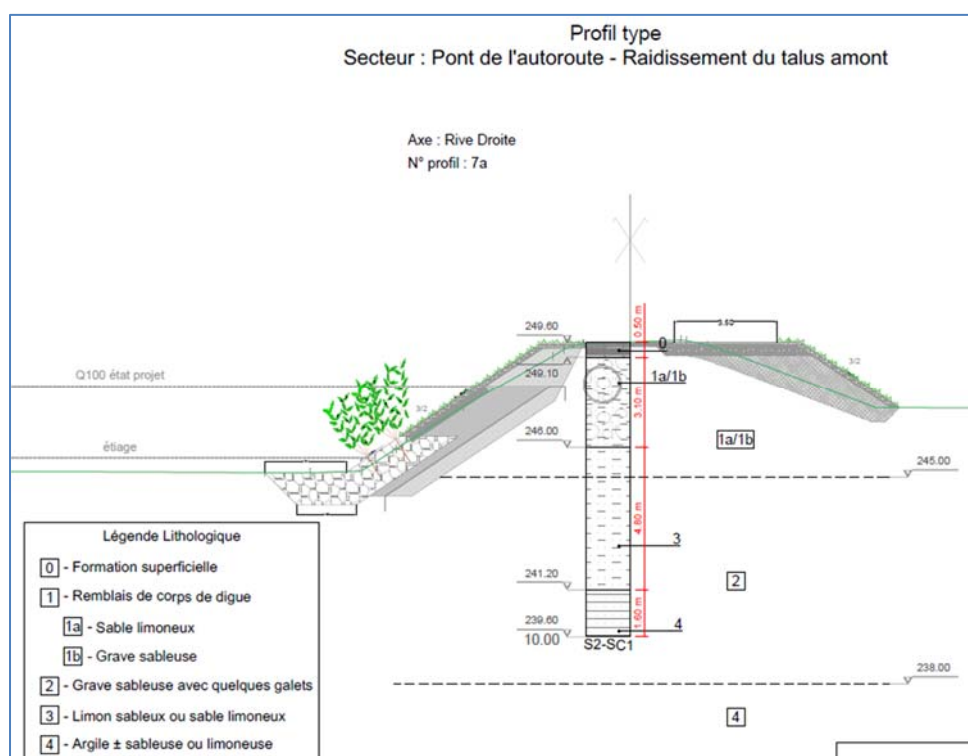
Profil géophysique sur le linéaire correspondant à la coupe particulière 1

Pour cette coupe particulière 1, il sera pris en compte un niveau de nappe en situation courante à 240.5 mNGF.

➤ Coupe particulière 2 : raidissement du talus amont

Cette coupe est valable sur 130 ml entre le PKL 6.240 et le PKL 6.110.

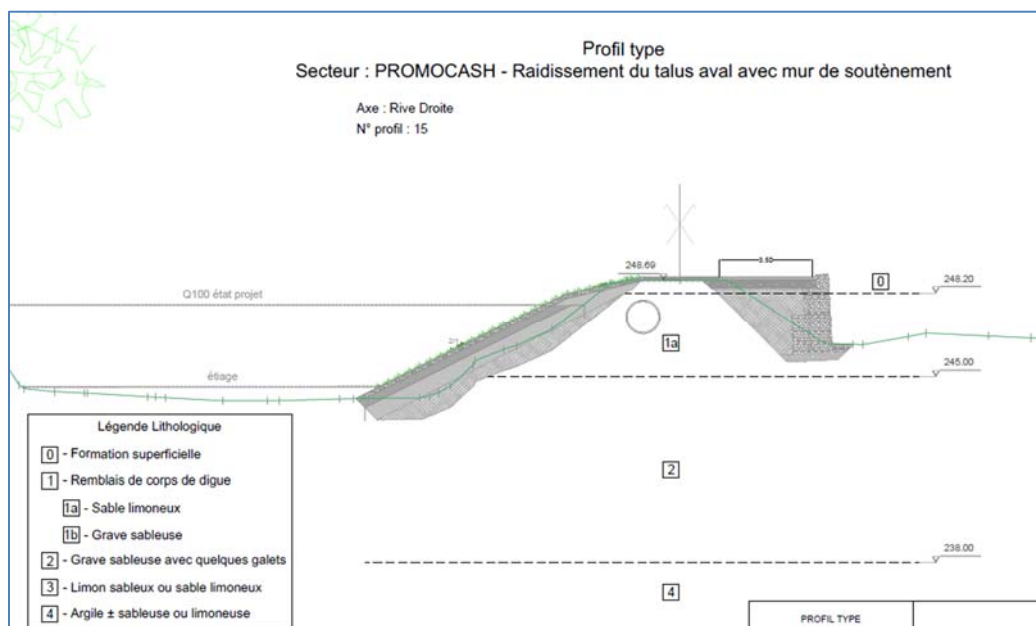
Sur le linéaire concerné par le raidissement (vers 7a), on constate sur la globalité du profil géophysique la présence de matériaux sablo-graveleux (en rouge/ violet), excepté vers « 10 » et « 50 » où le sondage S2-SC1 a été réalisé et qui n'a effectivement pas mis en évidence de graves. Nous proposons donc de retenir une lithologie globale prenant en compte la présence de ces graves, hypothèse conservatrice pour les calculs de stabilité.



Pour cette coupe particulière 2, il sera pris en compte un niveau de nappe en situation courante à 245.7 mNGF.

➤ Coupe particulière 3 : mur de soutènement au niveau du bras mort (Promocash)

Cette coupe est valable sur environ 190 ml entre PKL 6.010 et PKL 5.820.



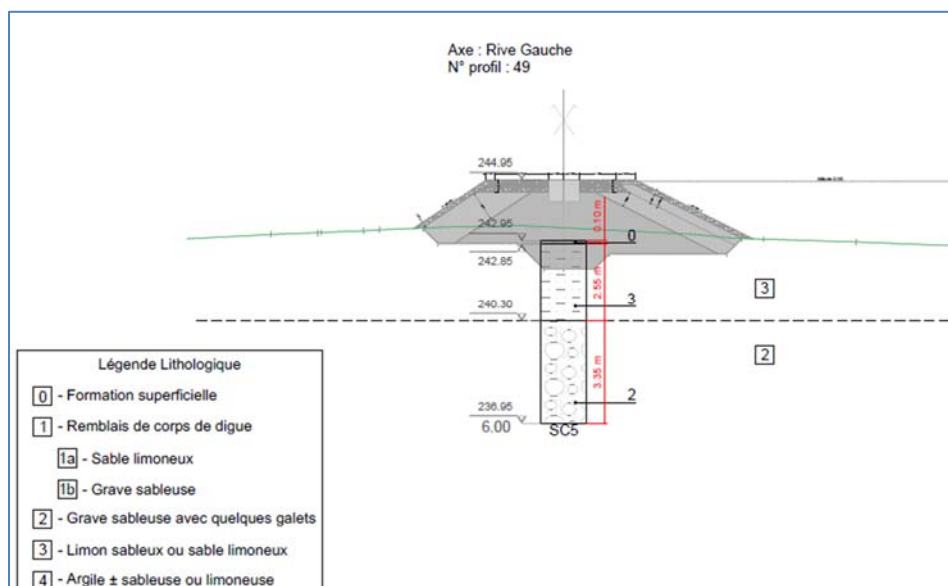
Pour cette coupe particulière 3, il sera pris en compte un niveau de nappe en situation courante à 245.5 mNGF.

13.2. Coupes lithologiques en rive gauche au droit du tracé de la future digue

A la lecture de la vue en plan récapitulant les différentes coupes géologiques des forages carottés, ainsi que des résultats des essais CPTu, 2 coupes lithologiques se détachent. Elles sont présentées ci-après :

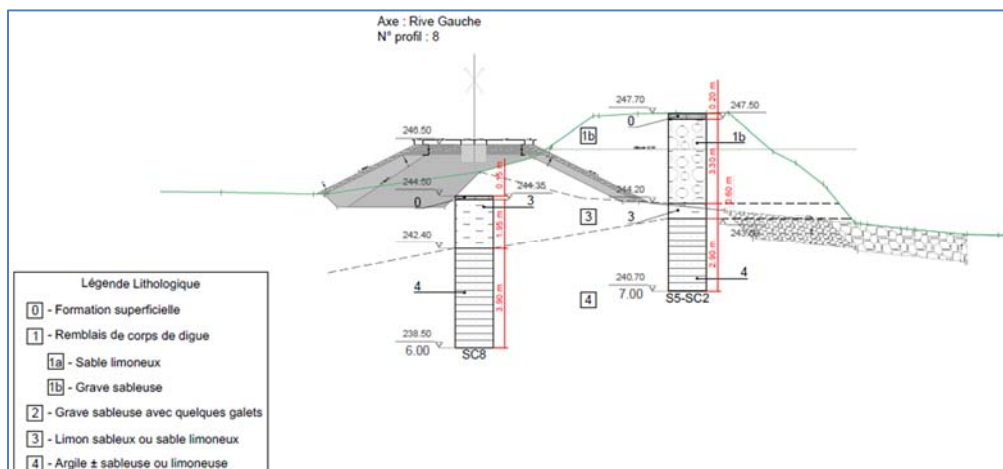
➤ Coupe « limon sableux surmontant les graves sableuses »

Cette coupe est valable entre les PKL 4.7 et PKL 5.2 environ. Le sol d'assise de la future digue sera constituée ici de limon sableux ou sable limoneux (3) sur environ 2.6 m d'épaisseur, recouvrant la formation 2 de grave sableuse avec quelques galets.



➤ Coupe « limon sableux surmontant les argiles sableuses »

Cette coupe est applicable sur tout le reste du linéaire de digue à construire. Le sol d'assise sera constitué de la formation [3] sur environ 2.0 m d'épaisseur, recouvrant la formation [4] d'argile plus ou moins sableuse ou limoneuse.



14. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques retenues

Les caractéristiques géotechniques et géomécaniques des différentes couches de sol, en place et d'apport, retenues pour les modélisations sont proposées dans le tableau en page suivante. Les valeurs proposées tiennent compte des résultats des différents essais et de notre expérience du site.

Ces valeurs sont valables pour chaque rive et quelques soient les coupes de calcul.

Faciès		Caractéristiques géotechniques		Caractéristiques géomécaniques	
N° horizon	Lithologie	γ (kN/m ³)	K (m/s)	C' (kPa)	φ' (°)
[0]	Formation de couverture	19.0	1×10^{-5}	1.0	28.0
[1a]	Remblai de corps de digue Sable limoneux	20.0	1×10^{-5}	2.0	33.0
[1b]	Remblai de corps de digue Grave sableuse	20.0	1×10^{-3}	0.0	35.0
[2]	Grave avec quelques galets	22.0	1×10^{-4}	0.0	35.0
[3]	Limon sableux ou sable limoneux	20.0	1×10^{-5}	2.0	33.0
[4]	Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse	20.0	1×10^{-6}	5.0	26.0
Confinement GSB	Matériaux type C1bi ou B5	20.0	1×10^{-5}	0	32
Support GSB	Matériaux type A1	20.0	1×10^{-6}	2	30
Tout-venant alluvionnaire	Variée : essentiellement sable limono-graveleux	20.0	1×10^{-3}	0	30
Clé-drainante	Graviers	225.5	1×10^{-2}	0	37

Extrait norme sur les missions d'ingénierie géotechniques

Documents graphiques et résultats d'investigations

Diagrammes des sondages au pénétromètre

Coupe des forages carottés

Essais en laboratoire

Vue en plan en rive droite

Vue en plan en rive gauche

4 Profils en travers en rive droite

3 Profils en travers en rive gauche

Plan d'implantation des sondages

ANNEXE EXTRAIT DE LA NORME FRANCAISE SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P 94 500 de novembre 2013)

CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

- Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.
- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

- Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-projet (AVP)

- Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

- Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

- Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.
- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en oeuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'oeuvre ou intégrée à cette dernière.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

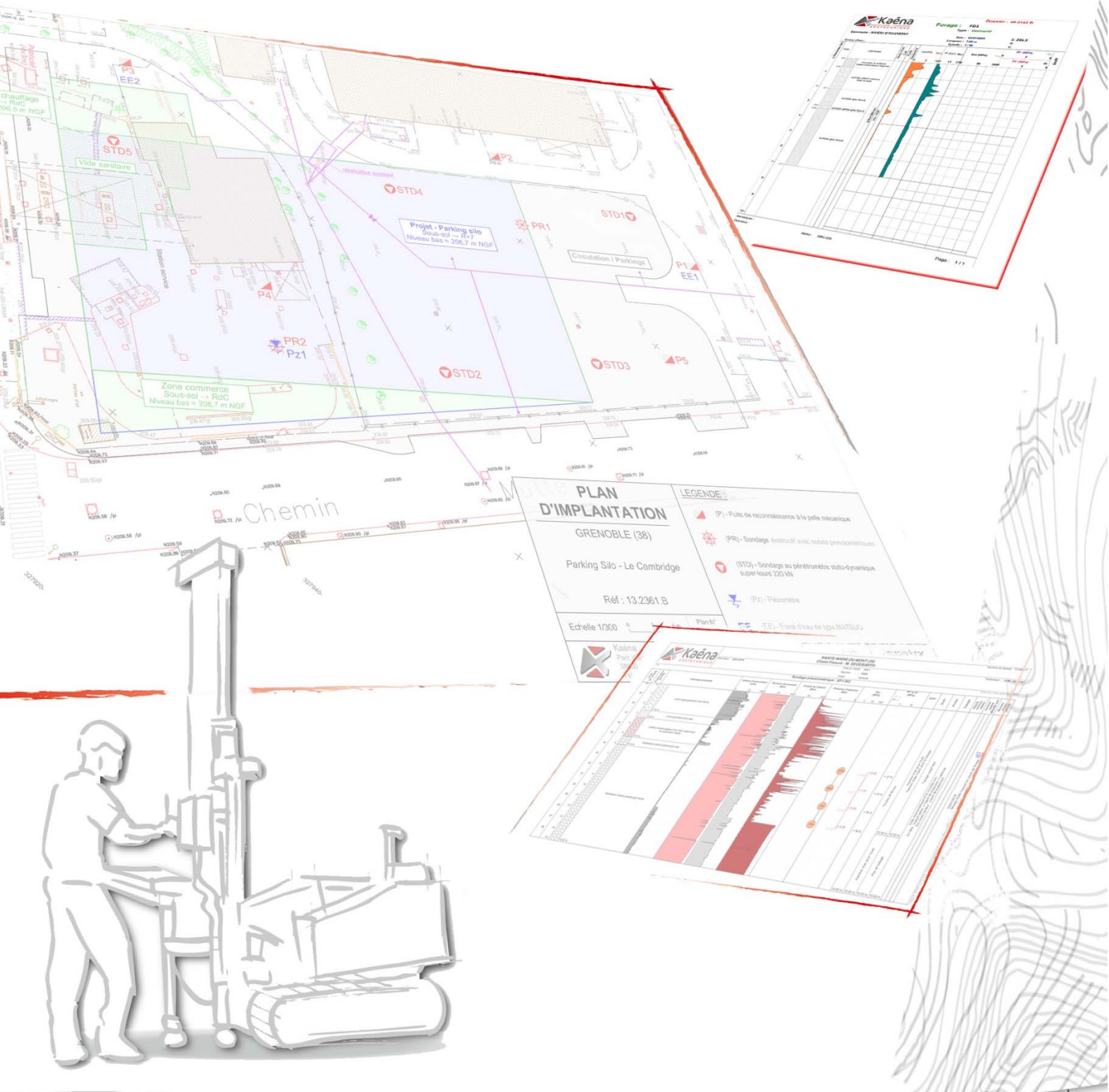
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

DOCUMENTS GRAPHIQUES ET RESULTATS DES INVESTIGATIONS





www.kaena.fr

Kaéna - Siège social - Parc d'Activités Eurékalp
L'Epicentre-38660 Saint Vincent de Mercuze
Tel 04 76 97 94 64 - Fax 04 76 97 94 65
contact@kaena.fr - www.kaena.fr

SAS au capital de 98 350,00 € - N° SIREN 510 277 478 - Code NAF 7112B RCS Grenoble - TVA FR 77510 277 478

Kaéna - Pays de Savoie
12 avenue du Pont de Tasset
Meythet - 74960 Annecy
Tel 04 58 10 05 74 - paysdesavoie@kaena.fr

