



FLORES TP  
1585, Chemin de Lalande  
82170 BESSENS

Demande d'Autorisation  
Environnementale Unique  
AU TITRE DE L'ARTICLE L.181-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

**PROJET DU SITE DE LAPEYRIÈRE**

« Canto Coucut », « Matas », « Rieu del Four »  
*COMMUNE DE BESSENS (82)*

**ETUDE D'IMPACT ET ETUDE DES DANGERS**  
**ANNEXE DE L'ETUDE D'IMPACT**

**6\_ANNEXE 9**

**DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (SOLINGEO)**

NOTE MÉTHODOLOGIQUE (MISSION G5) – RÉF. S-2406-048 DU  
24/07/24

Dossier référencé 226/01/2024/82/ENV  
Etabli pour le compte et sous la responsabilité de la société  
FLORES T.P. par :

COMPLÉTUDE ET RÉGULARITÉ  
juin 2025



N° d'affaire : S-2406-048

# AMÉNAGEMENT DU SITE DE LAPEYRIÈRE

## NOTE MÉTHODOLOGIQUE

**MISSION G5**  
**DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE**  
Lac de Lapeyrière – Bessens (82)

**Maître d'ouvrage : FLORES TP**  
1585 Chemin de Lalande  
82170 BESSENS

### 4 agences à votre service dans le Sud-Ouest

**Montauban Siège**  
350 avenue du Danemark  
82000 Montauban  
Tél 05 63 27 28 79  
info@solingeo.com

**Grand Toulouse**  
28 av. de la Mouyssaguère  
31280 Dremil-Lafage  
Tél 05 61 45 96 62  
info31@solingeo.com

**Lot**  
3 boulevard Carnot  
46400 Saint-Céré  
Tél 06 95 17 38 47  
info46@solingeo.com

**Aude**  
80 rue Jean Fourastié  
11400 Castelnaudary  
Tél 04 68 94 83 84  
info11@solingeo.com

SARL au capital de 6000 €  
N° SIRET 519 836 803 00048  
RCS Montauban 2010 B 50  
Code APE 7112B  
N° TVA INTRA FR02519836803



N° d’Affaire	Date	Etabli par	Vérifié par	Version	Nb. Pages
S-2406-048	24 juillet 2024	E. SALISSARD-POUMEAU	L. DUFFAU	1	21

## SOMMAIRE

1. GÉNÉRALITÉS .....	3
1.1. Cadre de l’étude .....	3
1.2. Missions .....	3
2. DESCRIPTION DU PROJET .....	3
2.1. Documents remis .....	3
2.2. Caractéristiques du projet .....	4
3. CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET ENVIRONNEMENTAL .....	6
3.1. Localisation et description du site .....	6
3.2. Stabilité actuelle du site .....	7
3.3. Risques majeurs naturels .....	7
a) Mouvements des sols – Retrait / Gonflement .....	7
b) Mouvements des sols – Glissement de terrains .....	8
c) Inondabilité .....	8
d) Inondation par remontée des nappes .....	8
e) Cavités .....	8
f) Sismicité et liquéfaction .....	8
g) Radon .....	8
h) Amiante environnemental .....	8
3.4. Contextes géologique et hydrologique .....	9
3.5. Zone d’Influence Géotechnique .....	9
4. CONTEXTES LITHOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE .....	10
4.1. Investigations sur site .....	10
4.2. Lithologie présumée au droit de la future digue .....	10
4.3. Aléas majeurs .....	11
4.4. Régime hydrogéologique .....	11
5. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE MISE EN ŒUVRE DE DIGUES .....	12
5.1. Généralités .....	12
5.2. Principaux types de barrages en terre .....	12
5.3. Problématiques géotechniques des ouvrages hydrauliques .....	13
5.4. Application au projet .....	14
6. MÉTHODOLOGIE DE SUIVI ET DE CONTRÔLE .....	15
7. RECOMMANDATIONS DE DRAINAGE .....	16

## 1. GÉNÉRALITÉS

### 1.1. Cadre de l'étude

En vue du projet d'aménagement du site de Lapeyrière, sur la commune de BESSENS (82), nous avons été sollicités par la société FLORES TP afin d'anticiper les problématiques géotechniques liées au projet et définir une méthodologie de suivi et de contrôle de la mise en œuvre de la digue.

Cette étude résulte de l'acceptation de notre devis n° DEV11368 en date du 14/06/2024, pour lequel nous avons reçu mandat le 19/06/2024.

### 1.2. Missions

Conformément à notre offre, ce rapport correspond à une mission de diagnostic géotechnique de type G5 selon la norme AFNOR NF P 94-500 de novembre 2013 (cf. classification et enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique présentés en annexes).

Cette étude a pour objectifs :

- de définir une méthodologie de suivi et de contrôle de la mise en œuvre de la digue, vis-à-vis des aspects géotechniques ;
- de définir des principes d'adaptation à envisager en fonction des résultats des essais de contrôle effectués en cours d'exécution, afin de justifier les conditions de stabilité et de sécurité de l'ouvrage ;
- de préciser les éventuelles contraintes géotechniques liées au site.

Nous rappelons ici que la norme NF P 94-500 définit l'enchaînement des missions géotechniques destinées à suivre les différentes phases d'élaboration et de réalisation d'un projet.

À ce titre, SOLINGÉO reste à la disposition des intervenants pour la réalisation d'éventuelles études géotechniques complémentaires présentées dans la Norme.

Enfin, cette étude et les annexes qui s'y rapportent, forment un tout indissociable dont l'exploitation et l'utilisation doivent respecter les « Conditions d'exploitation du rapport » portées en annexe.

## 2. DESCRIPTION DU PROJET

### 2.1. Documents remis

Les documents suivants nous ont été transmis afin de procéder à cette étude :

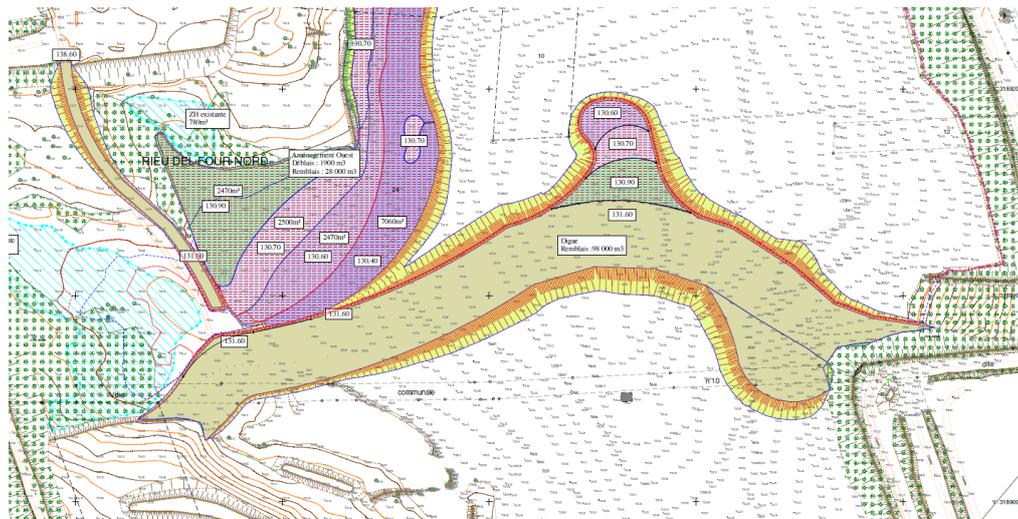
Documents	Emetteur	Date	Echelle
Plan de phasage du projet	Transmis par FLORES	-	1/4500
Plan de masse projet – Etape 1		21/03/2024	1/1000
Plan de masse projet – Etape 2 phase1		21/03/2024	1/1000
Plan de masse projet – Etape 3 phase 5		21/03/2024	1/1000
Coupes de principe au droit de la digue temporaire		-	-
Plan topographique		05/04/2023	1/500
Levé bathymétrique		-	-
Etude de l'incidence du futur stockage sur les eaux souterraines – ANTEA GROUP Rapport n°A124137		04/2024	-

## 2.2. Caractéristiques du projet

D'après les informations qui nous ont été communiquées, le projet consiste à réaménager le site de Lapeyrière, et plus particulièrement son lac, héritage de l'exploitation industrielle du site depuis les années 1980 jusqu'aux alentours de 2010.

Le projet a pour objectifs, d'une part la création d'une Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) et d'autre part l'amélioration du site du point de vue de son usage et de la biodiversité.

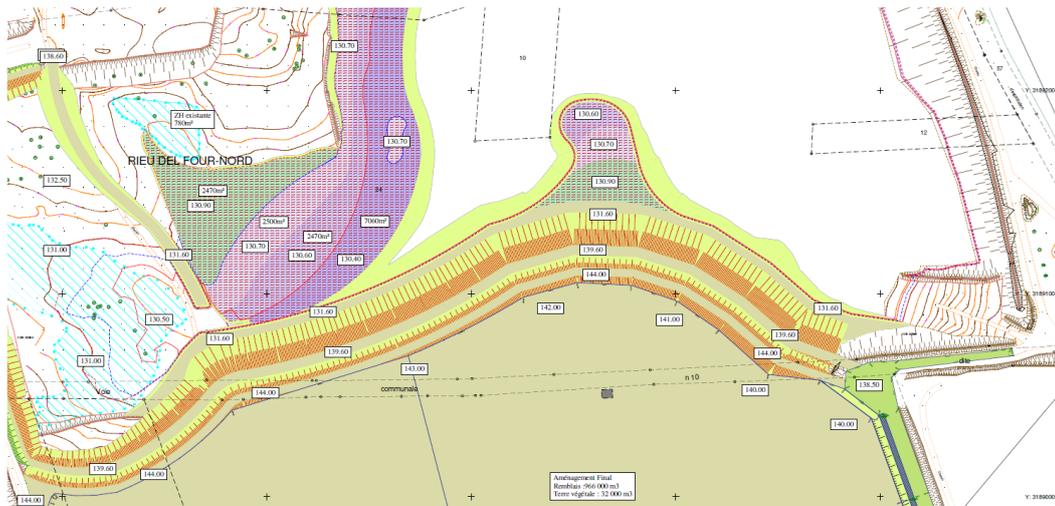
Dans cette optique, il est envisagé la création d'une digue provisoire en partie centrale du plan d'eau, permettant l'assèchement de sa partie Sud par pompage, puis son remblaiement progressif avec des matériaux inertes.



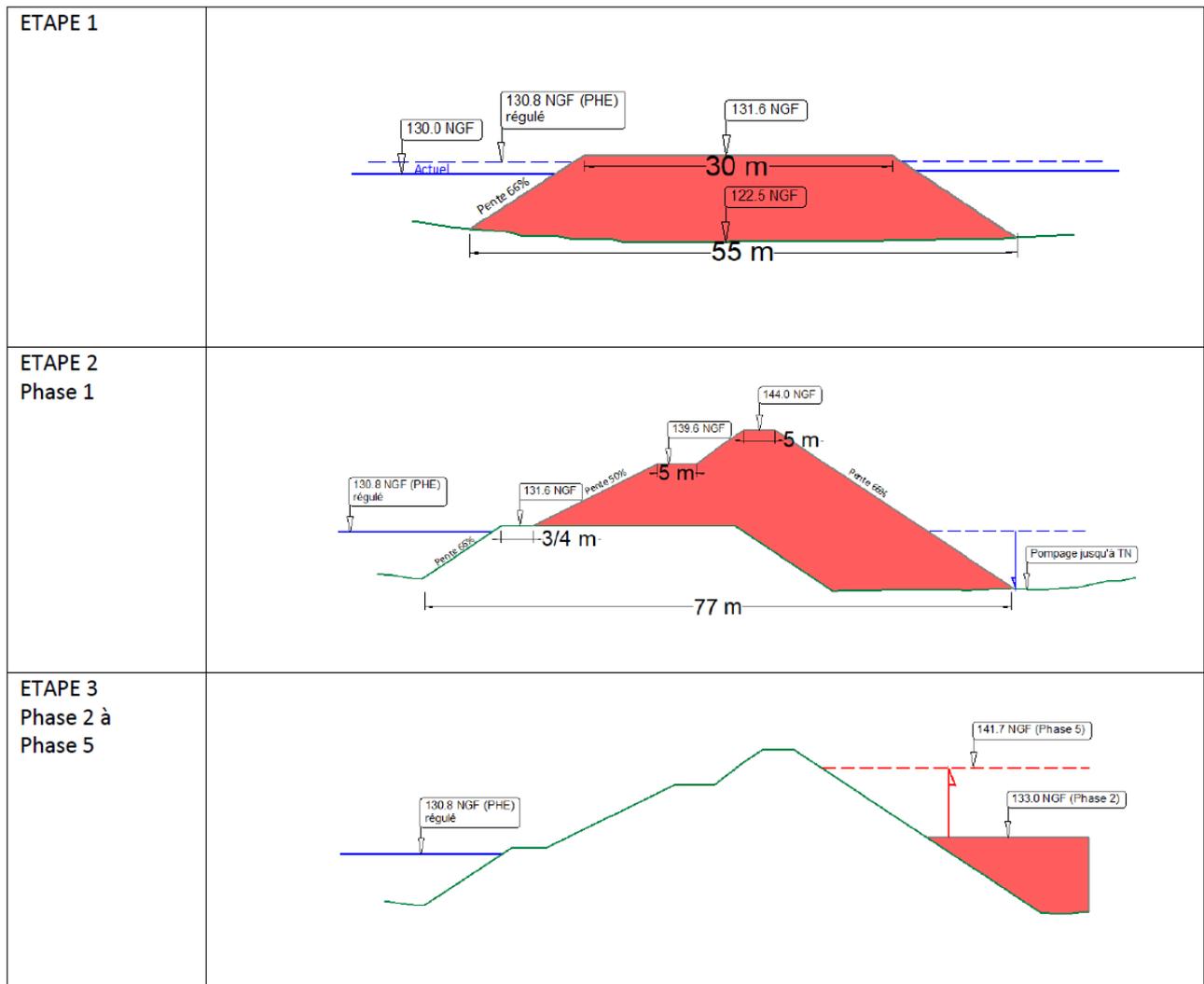
Plan de la digue provisoire projetée – Etape 1



Surélévation de la digue jusqu'à la cote maximale – Etape 2



*Remblaiement à l'arrière de la digue – Etape 3*



*Coupes de principes au droit de la digue temporaire*

Ce phasage nécessite la réalisation d'une digue provisoire en remblais, d'un volume estimé de 98.000 m<sup>3</sup>, mis en œuvre directement dans le lac (opération en eau), en avançant progressivement depuis les berges. *A priori* le remblaiement sera initié depuis la rampe côté Est, avec une crête de digue à la cote 131,6 NGF.

La surélévation de la digue (étape 2), mènera à une crête d'ouvrage à la cote 144,0 NGF, pour un remblaiement final côté amont jusqu'à la cote 141,7 NGF.

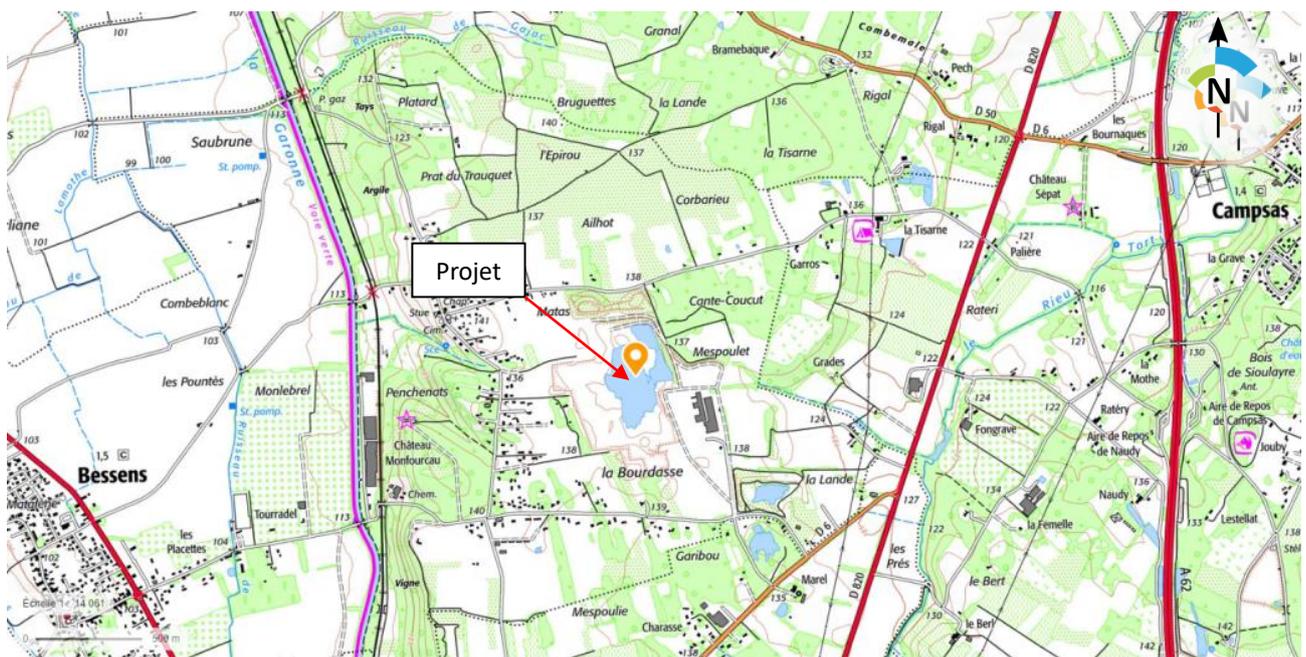
Pour un fond de lac actuel vers la cote 122,5/123,0 NGF, nous obtenons en partie centrale :

- une digue provisoire d'environ 9 m de hauteur maximale ;
- un remblaiement définitif de l'ordre de 21 m d'épaisseur maximale au droit de la crête.

### 3. CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

#### 3.1. Localisation et description du site

La zone étudiée est située à l'Est / Nord-est du bourg de BESSENS (82), à proximité du hameau de La Peyrière. Elle est localisée dans une zone rurale, dont la morphologie a été significativement modifiée par l'activité historique du site. Les abords du plan d'eau sont exempts de toute construction. Seuls des parcs photovoltaïques sont présents au voisinage du site.



D'un point de vue topographique, le site s'inscrit sur un secteur relativement plat et horizontal, au droit d'une terrasse alluviale limitée côté Ouest par la plaine de *la Garonne* et côté Est par la petite vallée du *Rieu Tort*. Le lac, qui résulte d'importantes excavations, présente des berges de pentes très variables, parfois raides, localement douces. Les alentours du lac ont également été remodelés par des aménagements en déblai/remblai et/ou des dépôts de remblais. D'après la carte IGN et les plans topographiques et bathymétriques du site, son altitude varie de + 138/140 NGF en marge du lac, à environ + 120,5 NGF au plus profond, avec un plan d'eau aux alentours de + 130 NGF.

Le site est plus ou moins enherbé et comporte une végétation arbustive et arborée modérée, souvent éparse.



### 3.2. Stabilité actuelle du site

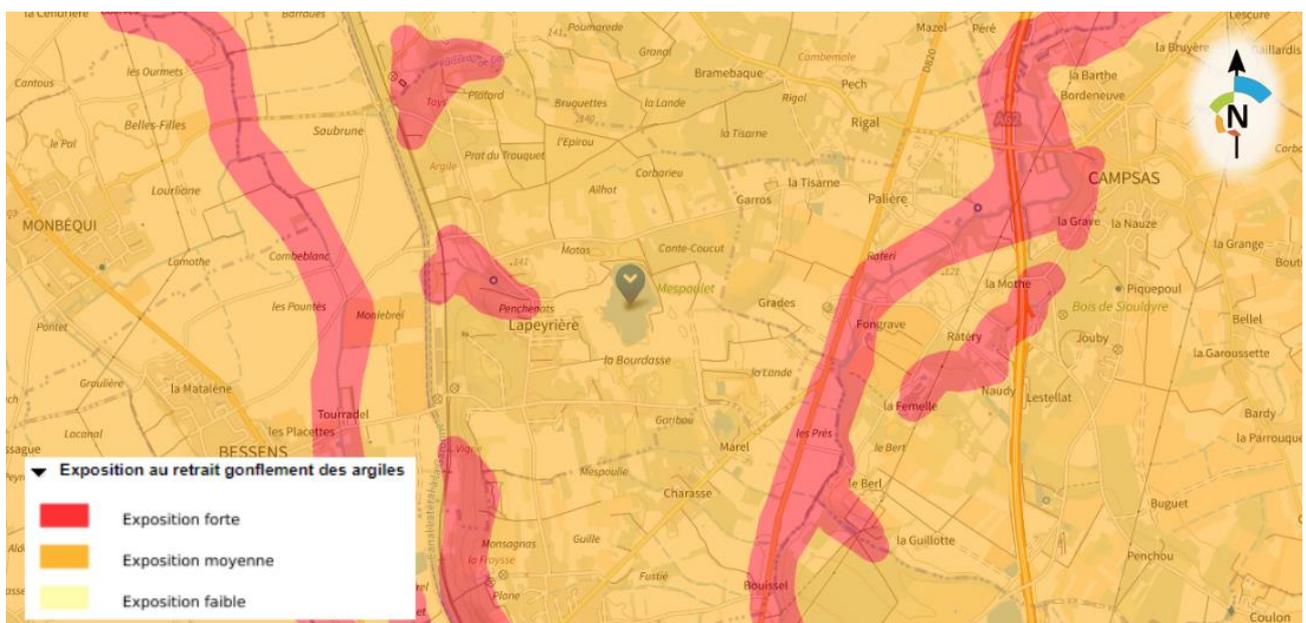
À ce stade, aucun phénomène d'instabilité ou de glissement ne nous a été rapporté.

Les berges du lac ne présentent pas de signes importants d'instabilité. Nous notons cependant quelques phénomènes superficiels de glissement de peau ou de ravinement sur certains talus en forte pente, affectant des terrains visiblement argilo-sablo-graveleux.

### 3.3. Risques majeurs naturels

#### a) Mouvements des sols – Retrait / Gonflement

D'après la carte du risque de « retrait/gonflement des argiles » sur la commune de BESSENS (82), éditée par le BRGM, la parcelle étudiée se situe dans une **zone d'aléa moyen**.



Aussi, à la date d'élaboration de cette étude, la commune de BESSENS (82) a fait l'objet de **7 arrêtés de catastrophes naturelles** relatifs aux mouvements de terrains consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Par ailleurs, un PPR relatif aux mouvements de terrain par tassements différentiels est en vigueur sur la commune depuis le 24/04/2005.

#### b) Mouvements des sols – Glissement de terrains

La parcelle n'est pas répertoriée en zone sensible aux glissements de terrains.

Cependant, les talus et les zones en forte pente restent des zones exposées aux phénomènes de glissement, notamment lorsque leur équilibre naturel est modifié par des travaux d'aménagement. Il conviendra de porter une attention particulière à la stabilité du site, notamment au niveau des berges du plan d'eau, tant en phase provisoire que définitive.

#### c) Inondabilité

Selon les cartes présentées sur le site du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, le site **n'est pas classé** en zone inondable.

#### d) Inondation par remontée des nappes

Selon le site du BRGM, le site est positionné en limite de zone à risque vis-à-vis des inondations de caves (**aléa moyen**) et de zone non concernée par le risque de remontée de nappe.

#### e) Cavités

Le terrain **n'est pas situé** sur un secteur spécifiquement concerné par le risque de présence de cavités souterraines naturelles. Aucune cavité naturelle n'est répertoriée dans un rayon de 500 m autour du site.

#### f) Sismicité et liquéfaction

Le zonage sismique édité par la Délégation aux risques majeurs du Ministère de l'Environnement, insère la parcelle dans une **zone 1**, caractérisée par une « sismicité **très faible** ». Les prescriptions parasismiques ne sont donc pas obligatoires.

#### g) Radon

Le radon est un gaz radioactif issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. Il s'agit d'un gaz inodore et incolore. Au vu du risque sanitaire associé à l'inhalation de ce gaz, des dispositions sont à prendre en compte lorsque le projet est localisé sur une commune à risque.

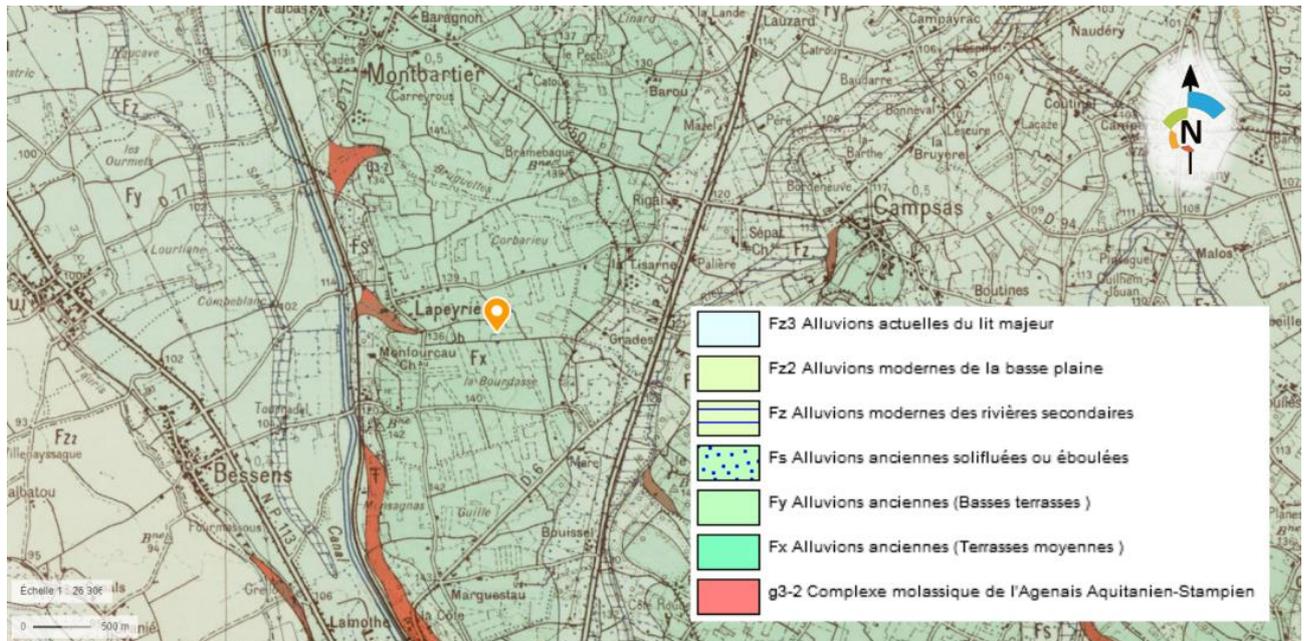
D'après la cartographie établie par l'IRSN, le terrain objet de notre étude présente un potentiel radon de catégorie **1 (faible)**.

#### h) Amiante environnemental

Le secteur n'a pas fait l'objet d'étude de susceptibilité vis-à-vis de la présence d'amiante environnemental. Les formations géologiques en présence ne sont pas spécifiquement concernées par ce risque.

### 3.4. Contextes géologique et hydrologique

Les informations portées sur la carte géologique N°956 au 1/50.000<sup>ème</sup> feuille de GRENADE-SUR-GARONNE, indiquent que le terrain est géologiquement inclus au sein des alluvions des moyennes terrasses, notées Fx, surmontant le substratum molassique de l'Aquitanien/Stampien, noté g<sub>3-2</sub>. Le complexe alluvionnaire est généralement constitué d'horizons supérieurs limono-argileux plus ou moins sableux, et d'un soubassement plus grossier (graves, graviers et sable, plus ou moins argileux).



Extrait de la carte géologique - Echelle graphique

D'un point de vue hydrogéologique, les terrasses alluviales sont généralement pourvues d'une nappe irrégulièrement établie dans leur soubassement caillouteux. Le niveau de cette nappe est susceptible de varier de manière notable au cours des saisons et en fonction des événements climatiques.

Enfin, au vu de la nature des couches en présence, une saturation des sols superficiels ou l'apparition de circulations d'eau anarchiques sont possibles en période climatique défavorable.

### 3.5. Zone d'Influence Géotechnique

La zone d'influence géotechnique correspondra à l'emprise des zones impactées par les terrassements (remblais et éventuels déblais), ainsi que les terrains situés en périphérie, sur une largeur de l'ordre de 30 m au-delà de la limite des terrassements.

## 4. CONTEXTES LITHOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

### 4.1. Investigations sur site

À ce stade du projet, seule une campagne de mise en place de piézomètres a été effectuée dans le cadre de l'étude d'incidence confiée à ANTEA GROUP.

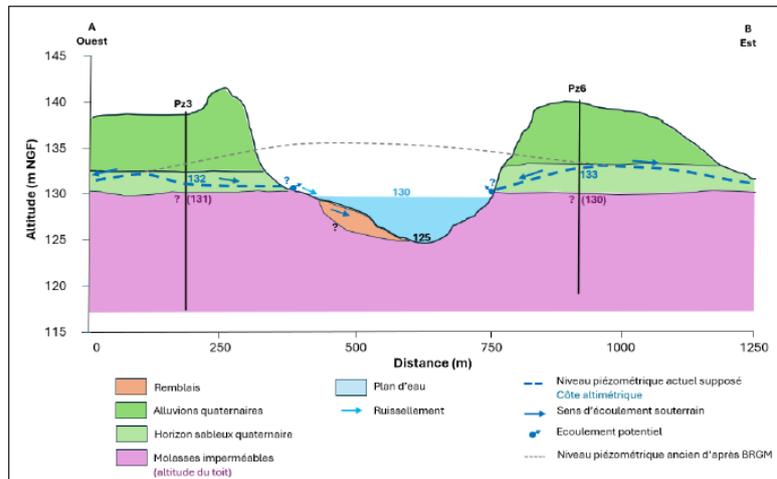
Il a été réalisé 6 piézomètres de 20 à 25 m de profondeur, répartis autour du lac, à des cotes altimétriques d'environ +138,5 à +139,7 NGF.

### 4.2. Lithologie présumée au droit de la future digue

La future digue recoupera le lac existant plus ou moins selon son axe Est/Ouest. Il pourra être considéré, pour une première approche de la lithologie au droit de l'ouvrage, les coupes des ouvrages PZ3 et PZ6. Cette lithologie s'établit depuis le terrain en haut des berges (138,5/139,7 NGF) :

Coupe géologique	Lithologie	Profondeur (m/TA)	Etat de consistance
<b>Eventuels remblais et alluvions moyennes à grossières</b>	Galets, graviers et sables grossiers argileux	De 0,00 à 4,00 / 6,00	Indéterminé
<b>Alluvions fines à moyennes</b>	Sables argileux, beige gris	De 4,00 / 6,00 à 8,00 / 10,00	Indéterminé
<b>Substratum</b>	Argiles sableuses à sables argileux (molasses présumées)	Au-delà de 8,00 / 10,00	Indéterminé

Nous rappelons ci-après la coupe schématique établie par ANTEA GROUP dans l'axe PZ3/PZ6 :



Il apparaît que le niveau du plan d'eau actuel s'établirait proche de la cote du toit du substratum molassique local.

Le fond du lac serait ainsi positionné au sein des faciès molassiques, principalement argilo-sableux mais pouvant être recoupés de bancs ou de lentilles plus sableuses.

### 4.3. Aléas majeurs

Les alluvions, du fait de leur mode de dépôt lenticulaire, peuvent présenter des variations latérales de faciès. Ainsi, il sera possible de rencontrer des lentilles sableuses ou graveleuses au sein des horizons argileux, ou au contraire des passages argileux au sein des alluvions sablo-graveleuses.

De la même manière, les dépôts molassiques se présentent sous la forme de couches lenticulaires, menant à des formations relativement uniformes dans leur globalité mais parfois hétérogènes dans le détail.

Le toit du substratum correspond à une surface d'érosion. Par conséquent, il sera toujours possible de rencontrer des surprofondeurs ou des remontées du toit du substratum.

Le site ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle et d'un remodelage sur certaines zones, l'état des sols en fond du lac reste incertain, avec un potentiel horizon remanié lors de l'extraction, et d'éventuels remblais ou faciès soliflués déjà présents.

Enfin, l'existence du plan d'eau suppose :

- d'une part une possible décompression des sols superficiels en fond de lac ;
- d'autre part une possible couche de dépôts récents, décomprimés et plus ou moins riches en matière organique (vase...).

Les aléas géologiques suivants peuvent ainsi être rencontrés au droit du futur ouvrage :

- présence d'une couche peu compacte, voire riche en matière organique, avant d'atteindre le substratum molassique ;
- présence d'une frange d'altération du substratum, de compacité et d'épaisseur variables ;
- variations latérales des faciès, présence de lentilles sableuses au sein du substratum ;
- venues d'eau à la faveur de veines sableuses au sein du substratum.

### 4.4. Régime hydrogéologique

Le secteur est caractérisé par l'existence d'une nappe établie au sein des faciès alluvionnaires. Le niveau de cette nappe est susceptible de varier au cours de l'année et en fonction des événements climatiques.

La présence du lac a conduit à un rabattement global de la nappe sur le secteur et à la création probable de sources et de circulations anarchiques sur les flancs du terrassement, alimentant le plan d'eau.

## 5. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE MISE EN ŒUVRE DE DIGUES

### 5.1. Généralités

La réalisation de digues conjugue différents sujets géotechniques, et plus particulièrement :

- la nécessité d'une étanchéité suffisante de l'ouvrage, permettant de limiter les débits de fuite ;
- la gestion des circulations d'eaux dans l'ouvrage, par l'intermédiaire d'un système de drainage, permettant d'une part de limiter les arrivées d'eaux en aval de la digue, et d'autre part de garantir la stabilité et pérennité de la digue en contrôlant le niveau de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage et en limitant le risque d'empatement des fines ;
- la nécessité d'un sol support adapté :
  - suffisamment porteur pour limiter les tassements et éviter le poinçonnement sous le poids des remblais ;
  - un comportement mécanique permettant d'éviter le glissement des terrains ;
  - non évolutif, pour éviter la déstructuration de l'assise de l'ouvrage et de potentielles instabilités à long terme ;
  - suffisamment imperméable, pour éviter des circulations d'eau importantes sous l'ouvrage (risque de renard hydraulique).

### 5.2. Principaux types de barrages en terre

Dans le cas classique des digues mises en œuvre hors d'eau, hors étanchéités par géomembranes, il existe différents types d'ouvrages, tels que ceux présentés ci-après :

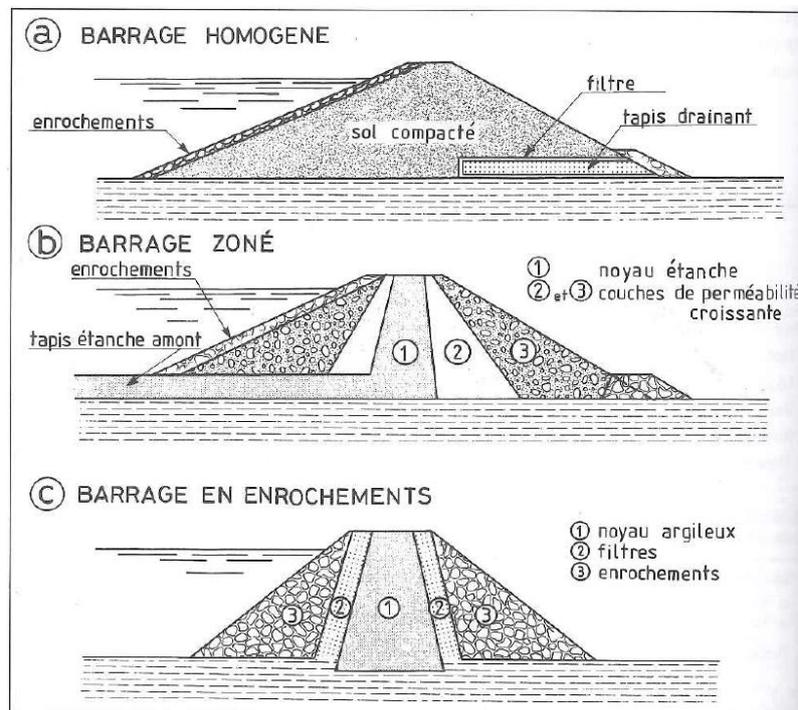


Fig. 8.26. Principaux types de barrages en terre

Extrait de « Fondations et ouvrages en terre », Gérard Philipponnat et Bertrand Hubert

La conception de ces ouvrages a pour objectif de garantir :

- une étanchéité par l'intermédiaire soit des sols compactés eux même, soit d'un noyau particulièrement imperméable (très argileux) ;
- une gestion des circulations d'eau dans l'ouvrage, par l'intermédiaire de dispositifs de filtre et de drainage, visant à assurer la stabilité du talus hors d'eau.

La majeure partie des digues de moins de 20 m de hauteur correspondent au type (a), barrage homogène en sols compactés.

La réalisation de ces ouvrages nécessite une mise en œuvre dans des conditions favorables, avec des matériaux adaptés, soigneusement compactés, avec un contrôle régulier.

Il existe également, lorsque les matériaux disponibles et/ou les sols support ne présentent pas des caractéristiques d'étanchéité suffisantes, la possibilité de créer une étanchéité au sein et/ou au droit du massif de terre par la mise en œuvre de structures complémentaires, telles que des palplanches ou une paroi moulée.

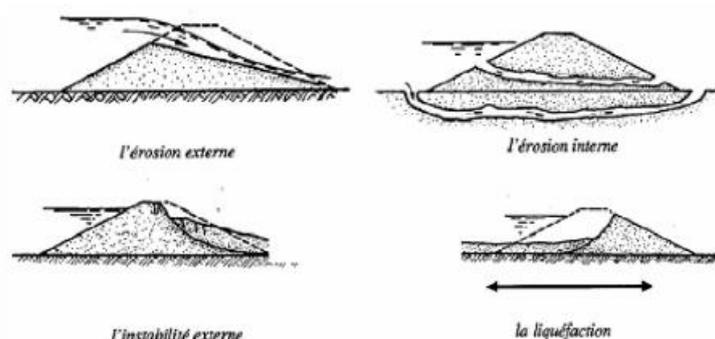
### 5.3. Problématiques géotechniques des ouvrages hydrauliques

La mise en œuvre de digues induit un nécessaire déséquilibre dans les sols, du fait d'une modification des charges et de l'apparition concomitante de gradients hydrauliques nouveaux.

Afin de garantir la stabilité et la sécurité d'un ouvrage, il convient de mettre en œuvre des dispositions et/ou des dispositifs permettant de contrôler et gérer ce déséquilibre.

Quatre principaux mécanismes de rupture sont généralement susceptibles d'affecter les ouvrages hydrauliques en remblais :

- l'érosion externe, qui correspond à l'arrachement des particules constituant la digue par des phénomènes extérieurs :
  - les courants, principalement lorsque la retenue est en lien suffisamment direct avec un cours d'eau, également associé aux chocs d'embâcles. Dans le cadre du projet, cet aspect est peu significatif ;
  - l'action des vagues, dont l'amplitude dépend principalement des dimensions du plan d'eau et de son exposition aux vents. Ce phénomène n'impactera le projet qu'à long terme ;
  - le ruissellement, lié aux précipitations. Le ravinement des sols est d'une part dépendant de la quantité d'eau et de sa vitesse d'écoulement (surface du bassin versant, pente, rugosité, végétalisation...), et d'autre part des caractéristiques des sols superficiels (cohésion, compacité, sensibilité à l'eau...). Des sols faiblement compactés peuvent présenter une forte sensibilité vis-à-vis du phénomène de ravinement ;
  - le mécanisme de sur versé, dans le cas où le niveau du plan d'eau dépasse la crête de la retenue, créant alors un courant. Cet aspect peut être maîtrisé par des ouvrages de régulation, sous réserve qu'ils soient opérationnels.
- l'érosion interne, qui correspond à un entraînement progressif des fines par des circulations dans ou sous les remblais, induits par l'existence d'un gradient hydraulique. Ce phénomène est généralement maîtrisé par l'étanchéité de l'ouvrage et par l'intermédiaire d'un dispositif de drainage, voire par la mise en place associée de barrières hydrauliques visant à augmenter les longueurs de cheminement des écoulements.
- l'instabilité externe, affectant les talus amont et aval de l'ouvrage. La maîtrise de cet aspect est associée à différents paramètres : la pente des talus, les caractéristiques des sols (dépendant de leur nature, de leur compacité et densité, étroitement liées à leur compactage) et les circulations d'eau dans l'ouvrage. La stabilité du talus aval est donc dépendante de l'existence ou non d'un système de drainage ;
- la liquéfaction, liée aux sollicitations sismiques. Cet aspect ne concerne pas le site.



## 5.4. Application au projet

Le projet nécessite la réalisation d'une digue, dont l'usage en tant que digue à proprement parler sera temporaire (durée *a priori* inférieure à 5 ans), mais dont le parement côté Nord sera conservé en phase définitive et constituera la nouvelle berge du lac.

En phase définitive, l'étanchéité et le drainage ne joueront plus un rôle significatif, tandis que les niveaux d'eaux dans les terrains remblayés retrouveront progressivement un équilibre. Cependant, la stabilité du talus Nord devra toujours être assurée.

Les objectifs dans le cadre du projet, sont donc :

- de permettre la réalisation d'une digue provisoire au droit d'un site actuellement immergé, répondant à des objectifs de stabilité et d'étanchéité adaptés ;
- de garantir la stabilité et sécurité du site pour les usagers (côté lac) et les ouvriers (côté stockage) en phase provisoire ;
- de garantir la stabilité et sécurité du site pour les usagers en phase définitive.

La mise en œuvre d'un remblaiement directement en eau revêt un caractère incertain vis-à-vis :

- de la nature et de l'état des sols support ;
- des caractéristiques mécaniques finales des matériaux d'apport mis en œuvre sous l'eau, qui devront dans le cadre de l'étape 2 supporter le poids de remblais supplémentaires. La mise en œuvre sans compactage mécanique conduit à attendre une consolidation « naturelle » et progressive des sols sous leur propre poids, dont la durée ne peut être anticipée ;
- de la géométrie effective de la partie immergée du remblai ;
- de l'étanchéité de l'ouvrage.

Ces différentes incertitudes ne permettent pas en l'état le contrôle de l'ensemble des paramètres nécessaires à la maîtrise de la stabilité et sécurité de l'ouvrage :

- risque d'instabilité des talus, du fait de matériaux peu compacts et en l'absence de dispositif de drainage (pour le talus aval notamment) ;
- risque d'érosion interne, voire externe ;
- risque d'arrivées d'eau dans la partie Sud, après pompage, du fait d'une étanchéité insuffisante ;
- risque de tassements différentiels et d'érosion interne (sous l'ouvrage), sans contrôle de l'assise de l'ouvrage et de la compacité des remblais.

Aussi, la phase 2, correspondant à l'élargissement de la digue par assèchement de la partie Sud, sera une phase critique pour l'ensemble des berges latérales existantes présentant des signes de stabilité précaire, qui vont se retrouver à nu et qui pourront nécessiter une surveillance accrue associée à des diagnostics et études de stabilités.

***En ce sens, il apparaît nécessaire de prévoir une méthodologie de suivi et de contrôle de la mise en œuvre de la digue.***

***À défaut de pouvoir garantir l'obtention d'objectifs de compacité et d'étanchéité par anticipation, il sera envisagé la réalisation de contrôles en cours d'exécution, pouvant mener si nécessaire à des adaptations et modifications de mise en œuvre.***

## 6. MÉTHODOLOGIE DE SUIVI ET DE CONTRÔLE

Le projet impose en premier lieu la création d'une digue provisoire, réalisée directement dans le lac par déversement progressif de matériaux.

Nous recommandons dans un premier temps la réalisation d'une première portion de digue, d'environ 1/3 du linéaire, permettant de s'approcher des zones les plus profondes du lac. Cette première partie de l'ouvrage servira de planche d'essais, et permettra notamment la réalisation de sondages visant :

- à évaluer les caractéristiques mécaniques obtenues avec les matériaux d'apport ;
- à évaluer la perméabilité des remblais mis en place ;
- à évaluer les caractéristiques des sols support de la digue.

La campagne d'investigations pourra notamment comporter :

- des sondages carottés ;
- des sondages pressiométriques ;
- des sondages au pénétromètre statique ou dynamique ;
- des essais d'infiltration ;
- une prospection géophysique ;
- des essais en laboratoire :
  - identifications GTR ;
  - essais de cisaillement ;
  - essais œdométriques...

Ces éléments, associés à des choix préalables de conception (vis-à-vis du drainage notamment) et à des levés topographiques et bathymétriques complémentaires, permettront de réaliser une modélisation et d'établir une évaluation prévisionnelle de la stabilité de l'ouvrage aux différentes étapes et phases du projet.

Enfin, lorsque la partie Sud sera encore en eau, après un diagnostic des signes d'instabilité sur les berges existantes associée à une campagne de sondages géotechniques, il conviendra de définir des modalités de reprises de certaines d'entre elles car la phase de pompage sera critique :

- Enlèvement d'une butée de pied à l'instar d'une vidange rapide ;
- Risque d'entraînement de fines et d'apparitions de glissements ou loupes de glissements ;
- Nécessité de réaliser des confortements des berges, par exemple par purges, reprofilages, enrochements/soutènements, éperons ou masques drainants.

Des campagnes géotechniques de diagnostics au niveau des berges de la partie Sud, qui se retrouveront à sec, sont également à prévoir et elles comporteront :

- des sondages carottés ;
- des sondages pressiométriques ;
- des sondages au pénétromètre statique ou dynamique ;
- des essais en laboratoire :
  - identifications GTR ;
  - essais de cisaillement...

En fonction des résultats des sondages et de la modélisation, il pourra être jugé :

- de la possibilité de conserver et surcharger la digue provisoire réalisée à l'avancement, **si les caractéristiques des remblais mis en œuvre et du sol support sont favorables** ;
- **de la pertinence d'observer un délai supplémentaire de consolidation**, si les caractéristiques des remblais sont médiocres lors de la planche d'essai, mais que les sols d'assise ne présentent pas de contrainte géotechnique particulière (notamment absence d'horizon évolutif ou particulièrement perméable). Le cas échéant, il pourra être envisagé d'équiper l'ouvrage pour un suivi (suivi de tassements, éventuel inclinomètre...) et de réaliser une campagne complémentaire après plusieurs mois/années afin de juger de l'évolution de compacité des matériaux. En l'absence de maîtrise sur le compactage des matériaux lors de leur mise en œuvre directement en eau, le temps de consolidation ne peut être maîtrisé ;
- **de la nécessité de recourir à un principe de mise en œuvre hors d'eau**, moyennant alors :
  - soit la réalisation d'un batardeau provisoire au Nord du projet, sous réserve de faisabilité, afin d'assécher l'emprise de la digue à créer ;
  - soit l'assèchement partiel (avec réalisation d'un batardeau de hauteur moins importante) ou général du lac (afin de s'affranchir de la réalisation d'un batardeau).

## 7. RECOMMANDATIONS DE DRAINAGE

De manière générale, les ouvrages hydrauliques sont pourvus d'un dispositif de drainage, permettant de rabattre les écoulements dans le corps de la digue et éviter leur résurgence au niveau du talus aval. La maîtrise de ces écoulements est nécessaire à la stabilité du talus, tant à court que moyen terme :

- maintien des caractéristiques mécaniques des sols (sensibles à l'eau) et de leur aptitude au talutage ;
- contrôle de la pression interstitielle ;
- limitation de l'érosion interne (entraînement des fines par les circulations d'eau) ;
- limitation de l'érosion externe (ravinement du talus sur les zones de résurgence).

L'intégration d'un système de drainage garantissant la collecte des eaux issues du plan d'eau permettra de favoriser l'assèchement de la partie Sud du site. Des dispositions seront néanmoins nécessaires afin de collecter et évacuer les eaux de ruissellement (eaux pluviales) et les éventuelles résurgences de la nappe en périphérie du site.

L'un des systèmes de drainage les plus courants consiste en la mise en œuvre d'un tapis drainant sous la partie aval de l'ouvrage.

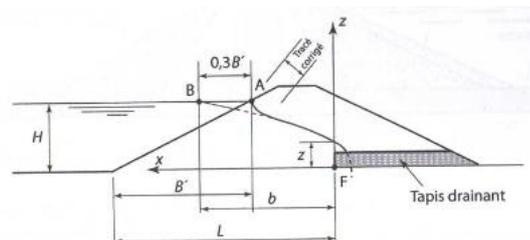
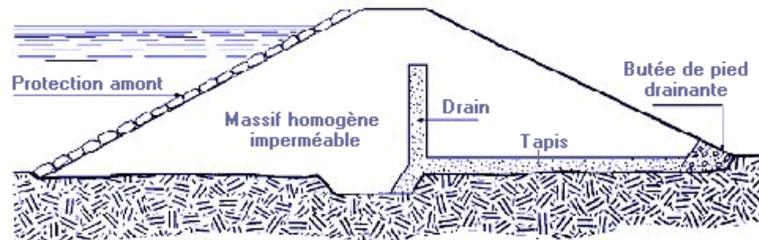


Fig. 15.12. Tracé de la parabole de Kozeny

Extrait de « Fondations et ouvrages en terre », Gérard Philipponnat et Bertrand Hubert

Ce tapis peut par ailleurs être associé à un drain vertical, permettant de rabattre plus efficacement les circulations d'eau.



Extrait du site du Comité Français des Barrages et Réservoirs

En fonction des principes de mise en œuvre définitifs (conservation ou non d'un principe de digue mise en œuvre directement en eau), il conviendra de prévoir un dispositif de drainage :

- techniquement envisageable, notamment s'il doit être réalisé après finalisation du corps de remblai. Dans ce cas, la réalisation d'un tapis n'est plus possible. Il s'agira alors de définir la possibilité de réalisation d'un drain uniquement vertical ;
- adapté à la durée d'utilisation du remblai en tant que digue (cote des remblais à l'arrière de la digue inférieure au niveau du plan d'eau) ;
- permettant l'évacuation des eaux collectées sur sa durée d'utilisation.

ΛΥΛΥΛΥΛ

SOLINGÉO reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Fait à MONTAUBAN le 24/07/2024

Rédigé par

Elian SALISSARD-POUMEAU

**SOLINGEO SARL**  
350 Avenue du Danemark  
ZA Alpasud  
82000 MONTAUBAN  
Tél. 05 63 27 28 79 / Fax 05 31 60 69 86  
519 836 803

Vérifié par

Laurent DUFFAU

**SOLINGEO SARL**  
350 Avenue du Danemark  
ZA Alpasud  
82000 MONTAUBAN  
Tél. 05 63 27 28 79 / Fax 05 31 60 69 86  
SIRET 519 836 803 00048

**Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique**  
**Extrait de la norme NF P 94-500 de novembre 2013**

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet	avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

## **Classification des missions d'ingénierie géotechnique Extrait de la norme NF P 94-500 de novembre 2013**

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.

## **Classification des missions d'ingénierie géotechnique** **Extrait de la norme NF P 94-500 de novembre 2013**

### **ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)** **ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre 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'œuvre 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'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).

## CONDITIONS D'EXPLOITATION DE CE RAPPORT D'ÉTUDE DE SOLS

La société Solingéo ne peut être en aucun cas tenu à une obligation de résultats car les prestations d'études et de conseil sont réputées incertaines par nature, Solingéo n'est donc tenu qu'à une obligation de moyens.

Le présent rapport ou procès verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La société Solingéo serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Maître d'Ouvrage ou à son Maître d'Œuvre de communiquer par écrit à la société Solingéo ses observations éventuelles sans quoi il ne pourrait en aucun cas et aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (exemple : failles, remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, pollution, etc. ...) doit être signalé à la société Solingéo qui pourra reconsidérer tout ou partie du rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité. Une mission G2 minimum est nécessaire pour estimer des quantités, coûts et délais d'ouvrages géotechniques.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du rapport et doivent être portés à la connaissance de la société Solingéo.

La société Solingéo ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur lesdites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachés à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un géomètre expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

Il est vivement recommandé au Maître d'Ouvrage, au Maître d'Œuvre ou à l'entreprise de faire procéder, au moment de l'ouverture des fouilles ou de la réalisation des premiers pieux ou puits, à une visite de chantier par un spécialiste. Cette visite est normalement prévue par Solingéo lorsqu'elle chargée d'une mission spécifique de type G4 de suivi de l'exécution des travaux de fondations. Le client est alors prié de prévenir Solingéo en temps utile.

Cette visite a pour objet de vérifier que la nature des sols et la profondeur de l'horizon d'ancrage de fondation sont conformes aux données de l'étude. Elle donne lieu à l'établissement d'un compte rendu.

Le Maître d'Ouvrage devra informer Solingéo de la date réelle d'ouverture du chantier et faire réactualiser le présent document en cas d'ouverture de chantier plus de 2 ans après la date d'établissement du présent document. De même, il est tenu d'informer Solingéo du montant de l'opération et de la date prévisible de réception de l'ouvrage.