

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**



Felipe de Souza Mata

**DIMENSIONAMENTO DE UMA CONTENÇÃO EM SOLO
GRAMPEADO CONFORME A NORMA FRANCESA NF-P 94-270**

Recife, 2024

Felipe de Souza Mata

Trabalho de Conclusão de Curso

**DIMENSIONAMENTO DE UMA CONTENÇÃO EM SOLO
GRAMPEADO CONFORME A NORMA FRANCESA NF-P 94-270**

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido no âmbito do programa BRAFITEC/CAPES, a partir do estágio de fim de estudos, realizado na empresa Géolithe, localizada na cidade francesa Crolles, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil e Geotécnico pela Polytech Grenoble e de Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco na modalidade de dupla-diplomação, sob a orientação do Prof. Dr. Antoine NAILLON.

Idioma do trabalho: francês

Coordenador do programa: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Recife, 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Mata, Felipe de Souza.

Dimensionamento de uma contenção em solo grampeado conforme a norma francesa NF-P 94-270 / Felipe de Souza Mata. - Recife, 2024.

77 : il., tab.

Orientador(a): Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Estrutura de contenção. 2. Solo grampeado. 3. Corrosividade de solos. 4. Norma francesa NF-P 94-270. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira. (Orientação). II. Título.

550 CDD (22.ed.)



POLYTECH GRENOBLE – INP, UGA

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA E ENGENHARIA CIVIL (GGC)

A comissão examinadora do trabalho de conclusão de curso

**DIMENSIONAMENTO DE UMA CONTENÇÃO EM SOLO
GRAMPEADO CONFORME A NORMA FRANCESA NF-P 94-270**

defendido por

Felipe de Souza Mata

Considerado o candidato

APROVADO

com nota 14,33/20

Saint-Martin-d'Hères, 07 de julho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antoine NAILLON - GRENOBLE INP, UGA
(orientador)

Prof. Dr. Florent VIEUX-CHAMPAGNE - GRENOBLE INP, UGA
(examinador interno)

Eng. Jean-Baptiste ANDRÉ - GÉOLITHE
(examinador externo)

PROGRAMA BRAFITEC/CAPES

O trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido no âmbito do programa BRAFITEC/CAPES na modalidade de dupla-diplomação entre a Universidade Federal de Pernambuco campus Recife e a Polytech Grenoble – INP, UGA localizada na cidade de Saint-Martin-d’Hères, França. Este estudo foi realizado durante período de estágio na empresa Géolithe, sediada em Crolles, França.

A defesa deste relatório de fim de estudos ocorreu no dia 07 de julho de 2023, na instituição de ensino Polytech Grenoble, em Saint-Martin-d’Hères, França. A nota obtida foi calculada como uma média aritmética dos três seguintes critérios: apresentação, relatório final e desenvolvimento do estudante durante o estágio. Com isso, a banca julgadora concedeu uma pontuação final de 14,33/20, indicando a condição de aprovado.

INTRODUÇÃO

As estruturas contenção são projetadas para resistir aos esforços gerados pela pressão do solo, incluindo a poropressão, sobrecargas e eventos sísmicos. Estas estruturas são frequentemente utilizadas em diferentes aplicações na engenharia civil, como em escavações urbanas e obras subterrâneas. Neste mérito, existem muitas variações de estruturas de contenção, que podem ser classificados como flexíveis, no caso de um paredão de solo grampeado, ou rígidas, como no caso de uma parede diafragma. Para cada contexto, há uma ou mais soluções que podem ser empregadas.

Ademais, no que diz respeito ao dimensionamento dos solos grampeados, tornou-se essencial, segundo a última versão da norma francesa NF-P 94-270 de outubro 2020, conhecer a força corrosiva dos solos, a fim de avaliar a ação da corrosão em reforços metálicos utilizados neste tipo de obra. Nesse viés, este trabalho traz o detalhamento de um projeto geotécnico de contenção do tipo solo grampeado, o qual foi escolhido como solução mais adequada, para estabilizar um talude com sinais de deslizamento de terra na rodovia RD269, no departamento francês de Haute-Savoie, seguindo as recomendações normativas vigentes.

OBJETIVOS

- Verificar a estabilidade de um talude às margens da rodovia RD269 por meio do uso do software TALREN v5;

- Detalhar o dimensionamento de uma estrutura de contenção do tipo solo grampeado;
- Abordar a nova metodologia proposta pela norma francesa NF-P 94-270 para análise do potencial corrosivo dos solos e contribuir com a implementação das novas exigências nos projetos da empresa.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo foi fundamentada em revisões da literatura, com destaque para a norma francesa NF-P 94-270 de aplicação do Eurocódigo 7, que trata de projetos geotécnicos. Além disso, foram conduzidos ensaios de pH e condutividade elétrica em amostras de solos no laboratório da própria empresa, conforme as exigências das normas NF ISO 10390 e NF ISO 11265, respectivamente. Já para a análise da estabilidade do talude e dimensionamento da estrutura do solo grampeado, foram utilizados os softwares TALREN v5 e GEOSPAR.

Para o reconhecimento da área de estudo, foi realizado um ensaio pressiométrico e uma sondagem destrutiva, além de visita técnica no local para simples reconhecimento do terreno, onde pôde-se avaliar o estado da infraestrutura e registrar algumas informações e fotografias. Por fim, foram utilizadas imagens de satélite e documentos oficiais como o Plano de Prevenção de Riscos Naturais da área (PPRN), a carta geológica da região e o mapa de zoneamento sísmico da França.

RESULTADOS

O dimensionamento do solo grampeado resultou que o maciço de solo deverá estabilizado com duas linhas de grampo do tipo GEWI 25 mm, divididos em dois alinhamentos horizontais. A primeira linha de grampos foi definida com um comprimento total de 5 m, já a segunda linha conta com 1 m a menos. Além disso, o espaçamento horizontal entre grampos é previsto em 2 m e o ângulo de aplicação foi definido em 15 graus. O paredão de concreto projetado terá espessura de 20 cm e duas telas de armadura ST25C (malha 15 cm x 15 cm e diâmetro de 7 mm), espaçadas de aproximadamente 10 cm entre si e 5 cm de cobrimento de cada lado da contenção. Para a drenagem, foram previstos dispositivos do tipo barbacãs para cada 4 m² de superfície, inclinados de 5 graus com a horizontal.

No que se refere à proteção das armaduras contra corrosão, foi previsto a utilização de proteções obrigatórias como tubos em plástico termo retrátil ou dispositivo similar, se os testes de corrosividade não forem executados a tempo. Caso contrário, estes dispositivos poderão, a depender dos resultados, ser removidos e uma espessura da barra será sacrificada à corrosão.

Adicionalmente, este trabalho teve como resultado a criação de um banco de dados interno a empresa, no que diz respeito à avaliação da corrosividade dos solos, segundo as diretrizes normativas. A planilha em questão inclui informações como localização, número da amostra, profundidade de retirada, temperatura, condutividade elétrica, resistividade, pH e umidade. Este arquivo será alimentado continuamente com dados provenientes do laboratório, visando prever a classe de agressividade de um solo antes mesmo da realização de ensaios, com base nas informações já compiladas.

CONCLUSÃO

O projeto de contenção incorpora uma análise multifatorial de diferentes dados. Portanto, é crucial ter um bom entendimento do local de estudo, das exigências normativas e dos possíveis riscos associados, a fim de garantir a viabilidade do projeto, bem como a solidez e a segurança da estrutura durante as fases de construção e definitiva. Neste contexto, assegurar a durabilidade de uma estrutura de solo grampeado exige que as armaduras sejam eficazes ao longo de sua vida útil, sendo assim, resistentes aos efeitos da corrosão. Com isso, a nova norma NF-P 94-270 avançou em alguns aspectos que permitiram aumentar o nível de proteção dos grampos.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	13
2.	L'ENTREPRISE D'ACCUEIL : GÉOLITHE.....	14
3.	LE DÉROULEMENT DU STAGE	16
4.	LA FORCE CORROSIVE DES TERRAINS - FIL ROUGE.....	17
4.1	La nouvelle norme NF-P 94-270	17
4.2	L'outil de calcul interne	19
4.3	La résistivité d'un sol	19
4.4	La valeur du pH	21
4.5	La teneur en eau	21
4.6	L'épaisseur sacrifiée à la corrosion	21
4.7	La corrosion atmosphérique	22
4.8	Les protections obligatoires	23
4.9	La base des données GÉOLITHE	24
5.	L'ÉTUDE DE CONCEPTION D'UNE PAROI CLOUÉE.....	25
5.1	Présentation	26
5.1.1	Localisation de la zone d'étude	26
5.1.2	Définition du projet	26
5.1.3	Limites de l'étude	27
5.2	Contexte Général du site	27
5.2.1	Contexte géologique	27
5.2.2	Contexte hydrogéologique	28
5.2.3	Contexte géomorphologique et avoisinants	28
5.2.4	Contexte vis-à-vis des risques naturels	29
5.3	Reconnaitances géotechniques et modèle géologique	30
5.3.1	Résultats des sondages	30
5.3.2	Sondage SP1	30
5.3.3	Sondage SD1	31

5.3.4	Synthèse des reconnaissances naturalistes	31
5.3.5	Modèle géologique de la zone d'étude	33
5.3.6	Diagnostic des désordres	34
5.4	Hypothèses de calcul générales	34
5.4.1	Caractéristiques géomécaniques et analyse inverse	34
5.4.2	Profil de calcul	36
5.4.3	Contraintes hydrogéologiques	36
5.4.4	Surcharges	36
5.5	Dimensionnement de l'ouvrage	37
5.5.1	Type d'ouvrage	37
5.5.2	Géométrie de l'ouvrage	37
5.5.3	Contexte sismique	37
5.5.4	Méthode de calcul et coefficients de pondération	38
5.5.5	Force corrosive des sols	40
5.5.6	Barres d'ancrage	40
5.5.7	Parement béton	41
5.5.8	Justification du parement en béton	41
5.5.9	Drainage	42
5.5.10	Justification de l'ouvrage sous Talren v5	42
5.6	Travaux et recommandations	44
6.	CONCLUSION.....	45
7.	BILAN DES COMPÉTENCES	46
8.	SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE DE L'ENTREPRISE	48
9.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	49
	ANNEXES	51
A.	EXTRAIT DE LA NORME NF-P 94-500.....	52
B.	BASE DE DONNÉES GÉOLITHE.....	53
C.	RÉSULTATS ISSUS DES CALCULS TALREN V5	54
D.	RÉSULTATS ISSUS DES CALCULS GEOSPAR.....	73
E.	PLAN DE SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE 2022-2023.....	76

LISTE DES FIGURES

figure 1 - Répartition du CA sur les 3 années (2016, 2017, 2018).....	15
figure 2 - Répartition des clients GEOLITHE.....	15
figure 3 - Mesure du pH et de la résistivité, appareil HANNA HI5521	20
figure 4 - Protection P2 des ancrages	23
figure 5 – Massifs cloués à parement plan et incliné, source : Norme NF-P 94-270	25
figure 6 - Localisation du site	26
figure 7 - Plan du projet.....	26
figure 8 - Délimitation de la zone d'étude.....	27
figure 9 - Extrait de la carte géologique de la France, source : Géoportail	27
figure 10 - Eléments morphologiques de la zone d'étude	28
figure 11 - Implantation des sondages SP1 et SD1	30
figure 12 - Signes du glissement sur la route.....	32
figure 13 - Vue sur l'ouvrage en gabions en pied du talus	32
figure 14 - Coupe géologique retenue	33
figure 15 - Surface instables ($F_s < 1,0$) et analyse des paramètres en stabilité inverse..	35
figure 16 - Profil d'étude pour la solution	36
figure 17 - Résultat du calcul de la stabilité mixte	43

LISTE DES TABLEAUX

tableau 1 - Agences régionales et filiales GÉOLITHE.....	14
tableau 2 – Indice global NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.3.1)	18
tableau 3 – Catégorie de corrosion NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.3.1).....	19
tableau 4 - Épaisseur sacrifiée à la corrosion NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.6.1)	22
tableau 5 -- Épaisseur sacrifiée à la corrosion atmosphérique annexe F (F.2.1.8.1)	22
tableau 6 - Synthèse sondage SP1	31
tableau 7 - Synthèse sondage SD1	31
tableau 8 - Caractéristiques géotechniques.....	35
tableau 9 - Paramètres sismiques.....	38
tableau 10 - Récapitulatif des coefficients partiels de sécurité Approche 3	39
tableau 11 - Force corrosive du terrain.....	40
tableau 12 - Caractéristiques des ancrages	41
tableau 13 - Ferrailage du parement en béton	42
tableau 14 - Justification de l'ouvrage sous TALREN	43
tableau 15 - Enveloppe des travaux.....	44

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la formation en Géotechnique et Génie Civil à l'école d'ingénieur Polytech Grenoble, j'ai réalisé mon stage de fin d'études dans le domaine des études géotechniques chez GÉOLITHE, au sein de l'agence Alpes à Crolles. Pendant cette période, j'ai pu explorer le métier de l'ingénieur d'études dans un bureau d'ingénierie et ses différentes attributions. Pour ce faire, j'ai participé à plusieurs missions en phases d'avancement distinctes, principalement, liées à la conception des ouvrages.

En outre, j'ai eu l'opportunité de développer un fil rouge sur la corrosivité des terrains appliqué aux cas de massifs en sol cloué, conformément les nouvelles exigences de la norme NF-P 94-270 d'octobre 2020. Dans l'ensemble, ce stage m'a permis de développer des compétences techniques et transversales requises pour mon avenir professionnel en tant qu'ingénieur.

ABSTRACT

As part of my Geotechnical and Civil Engineering studies at Polytech Grenoble, I did my end-of-studies internship in the field of geotechnical studies at GEOLITHE's Alpes agency in Crolles. During this period, I could explore the activity of a design engineer in an engineering office and its various attributions. To do this, I've participated in several missions in distinct advancement phases, mainly related to the conception of geotechnical structures.

In addition, I had the opportunity to develop a subject on the corrosivity of soils applied to the cases of soil nailing, in accordance with the new requirements of the norm NF-P 94-270 of October 2020. In general, this internship allowed me to develop technical and transversal skills required for my professional future as an engineer.

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord remercier Messieurs Lucas MEIGNAN, Fabrice GUYOTON et Jean-Marc VERDIER de m'avoir accueilli au sein de leur société GÉOLITHE à Crolles. Ensuite, j'aimerais remercier mon maître de stage Jean-Baptiste ANDRÉ de m'avoir accepté pour le stage et de m'avoir si bien accueilli, ainsi que pour tout son accompagnement durant ces six mois.

De plus, je tiens à remercier tous les collaborateurs de l'agence Crolles pour l'accueil chaleureux et compagnie durant cette période, surtout, mes collègues du bâtiment 3. Ainsi je remercie :

Marie MADEC et Benjamin BERTHOME pour leur agréable compagnie pendant mon stage, aussi pour leur disponibilité à m'aider sur n'importe quel sujet.

Agathe FURET, Christine MONCHAL, Coralie VAUTHIER, Fanny MOINET, Thomas CIOCO et Pauline CHOLLIER pour leur compagnie dans l'open-space et pour leur assistance.

Alexis FAURE, Émeline MAGAT, Gaëtan MARTINEAU, Nicolas FLEURY, Christophe SABATIER et Didier CASTELLANET pour leur bienveillance et leur soutien sur quelques projets que j'ai participé.

Hugo MATENCIO et Benjamin BOUNIOL pour les journées de terrains dans le Jura et à Cavaillon.

Julien ARAB-BALDUCCI pour sa compagnie et pour tous les cafés que nous avons pris ensemble.

Je désire enfin remercier les enseignants de Polytech Grenoble et aussi mes collègues pour tout leur soutien pendant le stage et cette année universitaire.

1. INTRODUCTION

Les ouvrages de soutènement sont des structures conçues pour résister à des efforts générés par la poussée des terrains y compris la pression hydrostatique, les surcharges et les évènements sismiques. Ces structures sont fréquemment utilisées dans un large éventail de cas de stabilisation des talus, de constructions des fouilles et des travaux souterrains. C'est pourquoi il existe de nombreuses variantes de soutènements, qui peuvent être classés comme souples, dans le cas d'un massif en sol cloué, ou rigide comme dans le cas d'une paroi moulée. Pour chaque cas (mur poids, paroi clouée, écran de soutènement), les justifications normatives sont distinctes.

La conception et l'exécution de ces ouvrages font souvent partie de la routine d'un ingénieur géotechnicien. Les missions géotechniques de conception phase avant-projet (G2-AVP) et phase projet (G2-PRO) sont les étapes d'élaboration des solutions adaptées à la situation du projet, en tenant toujours compte le contexte du site, les risques associés et le choix du client. D'ailleurs, en ce qui concerne l'analyse du site, il est devenu indispensable de connaître la force corrosive des sols selon l'approche défini par la norme NF-P 94-270, afin d'évaluer l'action de la corrosion sur les armatures métalliques. En ce sens, j'aborderai dans ce mémoire une étude géotechnique de conception d'un ouvrage soutènement de type paroi clouée.

Je présenterai, en premier lieu, l'entreprise d'accueil et les activités réalisés pendant ma période de stage. Ensuite, j'évoquerai les éléments fondamentaux à prendre en considération lors de l'évaluation de la corrosivité des terrains dans le cadre de la norme, de plus, je détaillerai les démarches de la conception d'un projet d'une paroi clouée. Pour finir, je parlerai des compétences acquises au cours de ce stage, de mon avis personnel et du compromis environnemental de l'entreprise.

2. L'ENTREPRISE D'ACCUEIL : GÉOLITHE

Le bureau d'ingénieurs conseils GÉOLITHE a été fondé en 1998 et a connu une croissance progressive ces dernières années. En janvier 2022, le nombre d'employés était supérieur à 130 personnes, de plus, entre les années de 2009 et 2019 le chiffre d'affaires (CA) a presque doublé.

La société intervient dans différentes activités liées à la géologie, la géotechnique, la géophysique et le génie civil. Elle est présente sur l'ensemble du territoire français, inclus la France métropolitaine, les Départements et Régions français d'Outre-Mer (DROM) et les collectivités d'Outre-Mer (COM). Le siège social est situé à Crolles (38) et l'entreprise dispose de 8 agences régionales et 5 filiales, comme indiqué dans le tableau 1.

Agences régionales	Filiales
<ul style="list-style-type: none"> – Agence Alpes : Crolles (38) – Agence Méditerranée : Mouans-Sartoux (06) – Agence Grand Ouest : Pacé (35) – Agence Sud-Ouest : Toulouse (31) – Agence Pays-Basque : Bidart (64) – Agence Provence : Belcodène (13) – Agence Massif central : Aubières (63) – Agence Savoie Mont-Blanc : Annecy (74) 	<ul style="list-style-type: none"> – GEOLITHE Océan Indien : Mayotte (976) – GEOLITHE Océan Pacifique : Nouméa (988) – GEOLITHE Réunion : Sainte-Clotilde (974) – GEOLITHE INNOV – HYDROPHY

tableau 1 - Agences régionales et filiales GÉOLITHE

La structure organisationnelle est assez organique, caractérisé par une flexibilité, adaptabilité et autonomie des collaborateurs. La direction générale est assurée par Lucas MEIGNAN, Jean-Marc VERDIER et Fabrice GUYOTON. En plus, chaque agence et filiale a son propre responsable.

La société est divisée par pôles de compétences, chacun avec sa propre équipe mais travaillant toujours en coopération. Les différents pôles sont : géologie, géophysique, géotechnique, structure, hydrogéologie, instrumentation et modélisation informatique

Le pôle Géotechnique intervient surtout dans les domaines des infrastructures (linéaires, urbaines, industrielles, hydrauliques et souterraines), De plus, les aménagements touristiques font aussi sujet de ses interventions. D'après la figure 1, la répartition du chiffre d'affaires de l'entreprise dans la période triennale 2016-2018 montre que moitié des interventions sont liées

aux risques naturels (49%), l'autre moitié aux différentes infrastructures (49%) et une petite partie (2%) liée aux gisements et ressources.

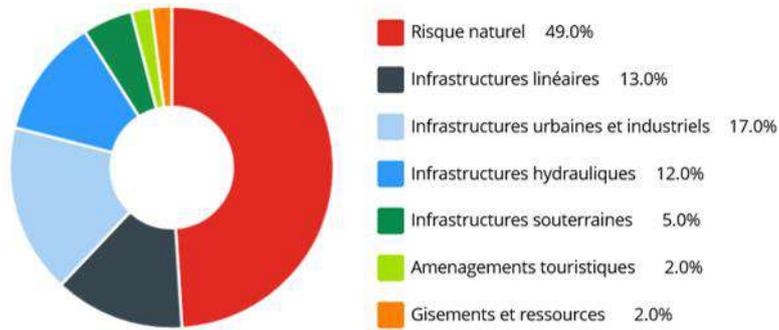


figure 1 - Répartition du CA sur les 3 années (2016, 2017, 2018)

Dans le cadre des missions, l'équipe géotechnique est souvent sollicitée sur différents projets de fondations, d'ouvrages de soutènements, de digues, de reconnaissances de site, de diagnostics et aussi d'ouvrages souterrains.

Les activités de l'entreprise sont assez variées et comprennent tous les stades de la vie d'un ouvrage. C'est-à-dire une compétence pour intervenir sur différents projets dans le cadre de mission types d'ingénierie géotechniques **G1 à G5** telles que définies par la norme NF-P 94-500 révisée de novembre 2013 et disponible dans l'annexe A.

- **Mission G1** – Etude géotechnique préalable ;
- **Mission G1 ES** – Etude de site ;
- **Mission G1 PGC** – Principes Généraux de Construction ;
- **Mission G2** – Etude géotechnique de conception ;
- **Mission G2 AVP** – Phase Avant-Projet ;
- **Mission G2 PRO** – Phase Projet;
- **Mission G2 DCE/ACT** ;
- **Mission G3** – Etude et suivi géotechnique d'exécution ;
- **Mission G4** – Supervision géotechnique d'exécution ;
- **Mission G5** – Diagnostic géotechnique.

La société a comme clients en majorité des institutions publiques, comme les départements, les régions, les communes et collectivités locales, ainsi que des acteurs privés et des particuliers. Cette répartition des clients peut être visualisé dans la figure 2.



figure 2 - Répartition des clients GEOLITHE

3. LE DÉROULEMENT DU STAGE

Le stage d'assistant ingénieur en géotechnique s'est déroulé au sein du pôle géotechnique à Crolles. Durant mon stage, j'ai pu explorer diverses études, notamment, la conception de fondations et d'ouvrages de soutènement. Dans cette perspective, le stage était focalisé sur le métier de l'ingénieur géotechnicien profil étude.

Au début, j'ai consacré mon temps à comprendre le fonctionnement de l'entreprise, du réseau et des missions auxquelles j'allais participer. Puis, avant d'intervenir dans les affaires de la société, j'ai réalisé quelques révisions bibliographiques, spécialement, la norme NF-P 94-270 qui traite des remblais renforcés et massifs en sol cloués. De ce fait, j'ai commencé par développer mon fil rouge. Ensuite, j'étais plus activement impliqué dans les missions géotechniques, surtout en ce qui concerne les parois clouées.

Postérieurement, j'ai réalisé la conception d'autres types d'ouvrages telles que des fondations et des murs poids. Pendant ce temps, je faisais aussi appel aux aspects normatifs de chaque ouvrage de manière à réaliser correctement les justifications. En général, j'ai pu travailler avec différents ingénieurs sur plusieurs dossiers, ce qui m'a permis de mieux connaître l'équipe et les projets.

Dans chaque mission, je réalisais soit une partie de la mission, soit la mission dans son ensemble. Pour commencer, je prenais connaissance du dossier et j'échangeais avec l'ingénieur chef du projet pour mieux comprendre la thématique et les attentes du rendu final. La plupart des cas, il s'agissait de l'élaboration d'un rapport technique avec les informations du site, la solution envisagée et le (pré)dimensionnement. Après la fin du rapport, l'ingénieur responsable faisait le contrôle du rapport.

Ainsi, le travail au bureau comprenait la réalisation de différentes activités comme la rédaction des rapports, le dimensionnement des ouvrages sur logiciels ou outils de calculs, le dépouillement d'essais, l'interprétation des sondages, le suivi de reconnaissances sur site, l'élaboration d'un chiffrage et d'un planning, entre autres. Pour la partie de conception des ouvrages, j'ai pu prendre en main différents logiciels comme TALREN, GEOSPAR, GEOMUR et FOXTA, ainsi que différentes notes de calculs sur EXCEL.

4. LA FORCE CORROSIVE DES TERRAINS - FIL ROUGE

La corrosion des armatures est une pathologie couramment rencontrée dans les constructions les plus diverses, ce fait peut affecter l'efficacité des aciers en termes de reprise des efforts, conséquemment, la sécurité de l'ouvrage. Les terrains agressifs sont souvent à l'origine de ce phénomène, principalement, en ce qui concerne les ouvrages géotechniques. En ce sens, la force corrosive d'un sol dépend, parmi d'autres aspects, de ses propriétés physiques et électrochimiques, telles que la teneur en sels et en eau, la perméabilité et la valeur du pH. Les sols plus fins, à cet effet, sont potentiellement plus corrosifs en raison de leurs capacités à retenir l'eau (Shiu et Cheung, 2008).

Différemment des armatures présentes dans le béton armé, qui sert de protection en plus d'être un milieu alcalin, les ancrages des ouvrages de soutènements du type parois clouées ou sols renforcés sont plus susceptibles à la corrosion, car ils peuvent être en contact direct avec le sol. Dans le cas de parois clouées, à l'exception de défaut de l'exécution des ancrages ou d'éboulement de la paroi, les armatures sont scellées sur une longueur définie comme longueur de scellement (L_s). Cependant, le coulis de ciment couramment employé comme scellement est particulièrement sensible à la fissuration et n'empêche pas la pénétration de l'eau et des produits chimiques, l'acier est donc exposé (Wu et al., 2021).

Par conséquent, une connaissance préalable du potentiel corrosif du sol s'avère indispensable lors de la conception des ouvrages. La norme d'application NF-P 94-270 qui traite des ouvrages géotechniques en remblais renforcés et des massifs en sol cloué a fait évoluer quelques éléments d'analyse à la corrosion des armatures, lesquels seront présentés dans la suite. À l'évidence, l'application des nouvelles exigences est encore en période d'adaptation, autant par les entreprises d'études que par des entreprises de travaux, c'est pourquoi cette thématique reste importante et actuelle.

4.1 La nouvelle norme NF-P 94-270

La dernière mise à jour NF-P 94-270 date d'octobre 2020 et a profondément révisé la méthode d'évaluation de l'agressivité d'un terrain. En conséquence, le calcul de la résistance ultime de traction des armatures a été modifié. Les changements plus impactants de la norme sont relatifs aux épaisseurs sacrificielles à la corrosion et aux situations de l'emploi de protections obligatoires pour les aciers.

Pour catégoriser un sol selon la norme, quelques caractéristiques doivent être renseignées. Les critères utilisés sont la nature du sol, l'humidité, la résistivité, le pH et la sensibilité de l'ouvrage, chacun contribuant différemment selon sa capacité à rendre un sol plus ou moins corrosif.

La norme propose le calcul d'un indice global, à partir duquel il est possible trouver la catégorie de corrosion associé au sol et à l'eau. Les pondérations à utiliser sont disponibles dans le tableau 2. D'après le *tableau 3* aussi extrait de l'annexe F de la norme, on peut se trouver dans 5 catégories différentes de sol : fortement corrosif, corrosif, moyennement corrosif, peu corrosif et très peu corrosif.

Critère	Caractéristiques	Poids A et C du critère
Nature de sol	Texture	
	— Lourde, plastique, collante, imperméable	A = 2
	— Argilo-sableuse	A = 1
	— Légère, perméable, sableuse, sols pulvérulents	A = 0
	— Tourbes	A = 8
	— Marécages	A = 8
	Déchets industriels	
— Mâchefer, cendres, charbon	A = 8	
— Déchets de construction (plâtre, briques)	A = 4	
	Pollutions liquides	
	— Eaux contenant des sels de déneigement	A = 8
	— Eaux usées, industrielles	A = 6
Résistivité (Ω .cm)	— Sans mesure	A = 5
	— $\rho < 1\ 000$	A = 5
	— $1\ 000 < \rho < 2\ 000$	A = 3
	— $2\ 000 < \rho < 5\ 000$	A = 2
	— $5\ 000 < \rho$	A = 0
Humidité	— Nappe d'eau saumâtre (variable ou permanente)	A = 8
	— Nappe d'eau douce (variable ou permanente)	A = 4
	— Hors nappe — sol humide (teneur en eau > 20%)	A = 2
	— Hors nappe sol sec (teneur en eau < 20%)	A = 0
pH	— Sans mesure	A = 4
	— < 4	A = 4
	— 4 à 5	A = 3
	— 5 à 6	A = 2
	— > 6	A = 0
Sensibilité ⁽¹⁾	— Structure sensible	C = 2
	— Structure courante	C = 0
Remblai artificiel	Voir chapitre F.2.1.4	
Indice Global		$\Sigma A + C$
La sensibilité de la structure est définie dans l'Annexe C.6.2.2		

tableau 2 – Indice global NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.3.1)

Dans ce contexte, une connaissance du terrain au niveau chimique est indispensable, car une fois la valeur du pH et de la résistivité inconnue (sans mesure), le terrain et l'eau seront automatiquement placés dans une catégorie corrosive. Cette catégorie impose la protection obligatoire (P.O.) pour les ouvrages avec une durée de vie supérieure à 50 ans, soit la plupart

des ouvrages géotechniques de caractère définitif. De plus, une catégorie fortement corrosive impose la protection obligatoire (P.O.) pour tous les ouvrages

Indice global $\Sigma A + C$	Catégorie de corrosion associée au sol et à l'eau	Caractéristique du sol et de l'eau
≥ 13	I	Fortement corrosif
9 à 12	II	Corrosif
5 à 8	III	Moyennement corrosif
1 à 4	IV	Peu corrosif
0	V	Très peu corrosif

tableau 3 – Catégorie de corrosion NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.3.1)

4.2 L'outil de calcul interne

Dans le cas du calcul de la traction de la barre d'acier, un outil de calcul est utilisé afin de rentrer la bonne valeur de résistance à la traction des ancrages dans les logiciels. Le calcul est possible après le choix des paramètres d'entrée comme la durée de vie et localisation du projet, le type et diamètre des barres d'aciers et si les barres seront exposées à la corrosion atmosphérique.

Pour l'évaluation du potentiel corrosif du sol, il est nécessaire de disposer de résultats d'essais en laboratoire, spécifiquement, la résistivité, le pH et la teneur en eau. Les méthodologies employées au sein de GÉOLITHE sont décrites dans la suite.

4.3 La résistivité d'un sol

La résistivité est l'un des paramètres majeurs dans la détermination du potentiel corrosif d'un sol, le résultat de cet essai renseigne la présence des sels dissous dans l'échantillon, notamment, les chlorures et les sulfates qui se configurent comme les plus problématiques pour les aciers. Les chlorures spécialement sont largement présents dans l'environnement, comme dans l'eau de la mer, dans les sels de déverglaçage et dans les produits chimiques. De plus, Ils peuvent être rencontrés aussi dans la forme gazeuse comme le chlorure d'hydrogène (Mansour, 2018).

Étant donné que la corrosion des armatures est un phénomène électrochimique, qui se passe dans la présence d'oxygène ou d'humidité, la résistivité joue un rôle extrêmement important dans la cinétique de cette réaction. En résumé, le milieu conducteur facilite l'échange d'électrons entre le cathode et l'anode, ainsi la vitesse de dégradation de l'acier est accentuée. En revanche, les milieux résistifs sont moins agressifs pour les ancrages (Chau, 2010).

D'après la norme internationale NF ISO 11265 de janvier 1995, la détermination de la conductivité électrique d'un échantillon de sol consiste à faire un extrait aqueux pour dissoudre les électrolytes dans l'eau, puis à en effectuer une mesure avec appareillage approprié. L'eau utilisé dans la procédure est du type deionisée et sa conductivité électrique ne peut pas excéder les 0,2 mS /m. Pour la réalisation de l'essai, il faut 20 g de la fraction entre 0/2 mm du sol sec à l'air.

Durant l'extraction, le volume de 100 ml d'eau doit être additionné à l'échantillon de sol dans un flacon et agité mécaniquement pendant 30 minutes à 20 °C. À la suite d'agitation, le mélange doit être filtré à travers du papier filtre. La mesure de la conductivité du filtrat est faite avec un conductimètre.

Ensuite, lorsque la résistivité est l'inverse de la conductivité, par l'équation suivante, les deux propriétés peuvent être converties :

$$\rho (\Omega.m) = 1 / (\sigma (s.m^{-1}))$$

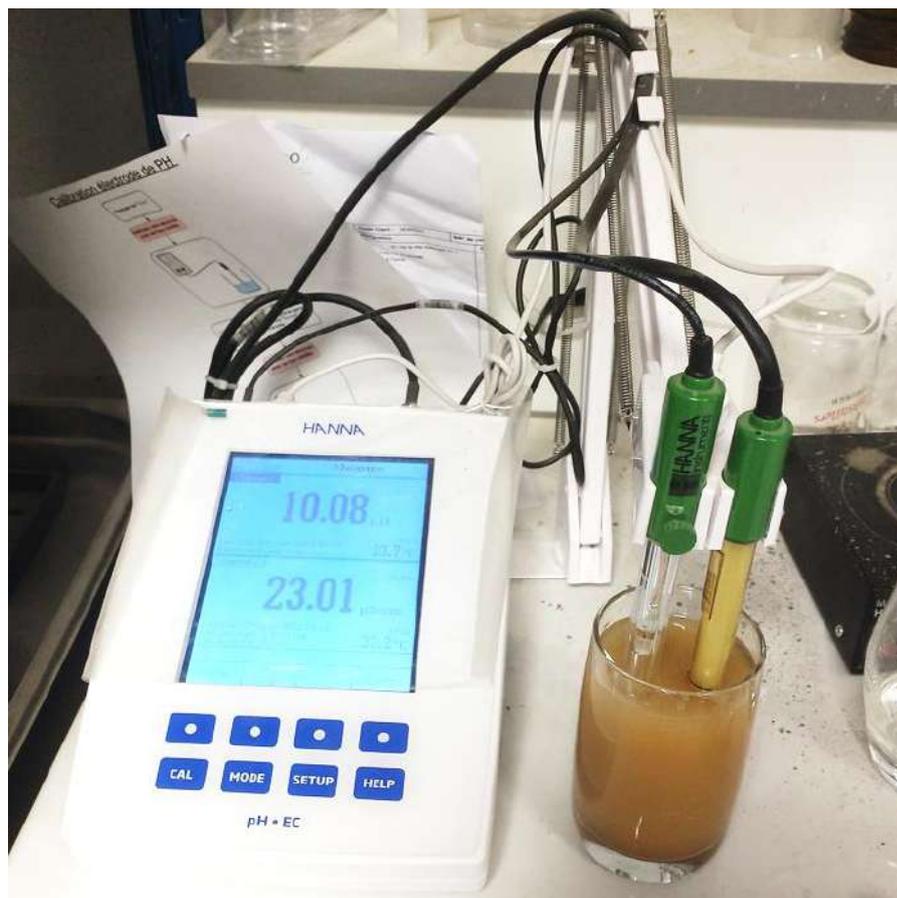


figure 3 - Mesure du pH et de la résistivité, appareil HANNA HI5521

4.4 La valeur du pH

La plus grande partie des terrains présentent une valeur de pH entre 6 et 9 dans son état naturel, toutefois, il est possible de rencontrer des sols de nature acide comme les tourbes acides, les sols pulvérulents riches en silice et les sols organiques.

Pour la mesure du pH, selon la procédure décrite par la norme internationale NF ISO 10390 de mars 2022, il faut dans un premier moment ajouter au moins une cuillère (5 ml) de l'échantillon de sol (fraction 0/2 mm) avec environ cinq fois son volume d'eau dans un flacon d'échantillonnage. Ensuite, le mélange est soumis à une agitation mécanique pendant au moins (60 ± 10) minutes, après l'agitation, il faut attendre au minimum 1h et au maximum 3h avant de réaliser la mesure. La lecture du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre ou appareil équivalent comme montré sur la figure 3.

4.5 La teneur en eau

L'eau est aussi un agent oxydant pour les armatures. Dans ce contexte, il est important de connaître la teneur en eau d'un échantillon de sol. La corrosion aqueuse est accentuée avec la présence des ions dissous.

Selon la norme NF-P 94-050 l'essai consiste à mesurer la variation de la masse de l'échantillon après séchage. Dans cette perspective, pour la réalisation de l'essai, on prélève un échantillon de 100g du sol pesé et mis à sécher dans l'étuve pendant 105°C pour les sols non organiques et à 50°C pour les sols organiques pendant au minimum 4h et 8h respectivement. Après séchage, un autre pesage est réalisé, la variation de poids nous renseigne sur la masse d'eau présente dans l'échantillon.

4.6 L'épaisseur sacrifiée à la corrosion

Pendant la phase de conception des ouvrages, une manière de contourner les effets dégradants de la corrosion et d'assurer la sécurité de l'ouvrage est de retenir une surépaisseur de l'acier. Dans ce cas, même si les armatures sont attaquées par la corrosion, la section après corrosion garantira la reprise des efforts.

D'après le tableau 4 pour les barres pleines, différentes épaisseurs peuvent être considérées selon la catégorie de corrosion du terrain et la durée de vie de l'ouvrage. Ainsi, pour effectuer le calcul de la résistance à la traction de la barre, un diamètre réduit est pris en

compte. En revanche, lorsque les protections obligatoires sont imposées, le diamètre de la section de calcul correspond au diamètre de la barre, si la corrosion atmosphérique n'est pas considérée.

Catégorie de corrosion	Jusqu'à 2 ans	Pour 5 ans	Pour 25 ans	Pour 50 ans	Pour 75 ans	Pour 100 ans
Valeurs recommandées pour la perte d'épaisseur « ΔE_p » par corrosion dans les sols et l'eau						
I	P.O.	P.O.	P.O.	P.O.	P.O.	P.O.
II	1,00 mm	2,10 mm	4,00 mm	P.O.	P.O.	P.O.
III	0,00 mm	0,70 mm	2,00 mm	2,70 mm	3,30 mm	4,00 mm
IV	0,00 mm	0,40 mm	1,00 mm	1,30 mm	1,70 mm	2,00 mm
V	0,00 mm	0,20 mm	0,60 mm	0,90 mm	1,10 mm	1,40 mm
Note : P.O. : Protection Obligatoire par dispositif de protection suivant NF EN 1537.						

tableau 4 - Épaisseur sacrifiée à la corrosion NF-P 94-270 annexe F (F.2.1.6.1)

4.7 La corrosion atmosphérique

La corrosion atmosphérique doit être prise en considération lorsque les tête des ancrages sont exposé à l'air sans aucune protection. De cette manière, selon la catégorie d'exposition, qui varie entre très faiblement corrosive (C1) à très fortement corrosive (C5) pour zones industrielles et marines, une épaisseur sacrifiée à la corrosion sera associée d'après le tableau 5. L'épaisseur sacrifiée (ΔE_p) doit être considéré sur au moins 1 m dans le massif, cette valeur doit être prise comme les plus défavorables entre les *tableaux 4 et 5* pour les barres pleines.

Catégorie de corrosion	Jusqu'à 2 ans	Pour 5 ans	Pour 25 ans	Pour 50 ans	Pour 75 ans	Pour 100 ans
Valeurs recommandées pour la perte d'épaisseur « ΔE_p » par corrosion atmosphérique						
C1	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm
C2	0,0 mm	0,0 mm	0,1 mm	0,1 mm	0,2 mm	0,2 mm
C3	0,1 mm	0,1 mm	0,2 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,7 mm
C4	0,1 mm	0,2 mm	0,6 mm	1,1 mm	1,6 mm	2,1 mm
C5	0,3 mm	0,6 mm	2,1 mm	3,9 mm	5,7 mm	7,5 mm

tableau 5 -- Épaisseur sacrifiée à la corrosion atmosphérique annexe F (F.2.1.8.1)

4.8 Les protections obligatoires

La norme NF EN 1537 préconise les protections obligatoires pour les catégories de sol corrosif et fortement corrosif, il est aussi recommandé un traitement différent pour la partie scellée, la partie libre et pour la tête d'ancrage.

L'application de la protection obligatoire dans les ancrages rend leur temps de réalisation deux fois plus longues, conséquemment, elles sont deux fois plus chères que les ancrages sans les protections obligatoires. Ensuite, le savoir-faire de cette application n'est pas répandu comme les ancrages sans protection, dans ce contexte, les entreprises de travaux s'adaptent aux croissantes demandes de ces dispositifs.

Ces protections peuvent être des gaines, des tubes plastiques, des manchons thermo-rétractables, des dispositifs d'étanchéité, des résines, entre autres. La figure 4 montre la mise en œuvre des ancrages avec protection obligatoire du type P2, il s'agit de l'application d'une gaine thermo-rétractable (en noire). La partie qui est encore exposée sera recouverte par une cire et protégée par une tête d'ancrage (plaque d'appui avec tube trompette). De plus, les raccords des barres sont faits par l'installation des manchons.



figure 4 - Protection P2 des ancrages

Le contexte du projet montré sur la figure considère la présence d'une pollution liquide, causée par la circulation des eaux contaminé par les sels de déneigement. La paroi est localisée en partie aval de la route départementale RD912 dans la Haute-Savoie (74).

A défaut d'essais de caractérisation, la note maximale du tableau 2 est appliquée aux critères « pH » et « résistivité » rendant la protection à la corrosion obligatoire. D'une manière générale, il est toujours intéressant de réaliser des essais de laboratoire, lesquels coutent très peu en comparaison à l'application des protections obligatoires. Dans une échelle plus grande, il s'agit d'un prix dérisoire comparé au prix de l'ouvrage.

4.9 La base des données GÉOLITHE

L'un des objectifs de ce fil rouge est la création d'une base des données GÉOLITHE qui puisse regrouper toutes les mesures de résistivité, pH et teneur en eau des affaires précédentes et actuelles. L'idée est de concaténer toutes les informations des différentes agences. À l'évidence, avant la sortie de la mise à jour de la norme NF-P 94-270 en octobre 2020, les essais étaient réalisés que dans les contextes plus précis comme pour les ouvrages à proximité de la mer, les sols industriels ou d'autres situations qu'on avait des indices d'un sol corrosif. Dans ce contexte, la généralisation de ces analyses est assez récente, ce qui suscite la création d'une nouvelle organisation, tel que l'ajout de ce nouvel outil.

Ensuite, une fois toutes les données compilées, le travail à suivre se limite à alimenter la feuille EXCEL à chaque fois qu'un nouvel essai est réalisé. Les informations utilisées sont les suivantes : département, commune, nom de l'échantillon, numéro d'affaire, profondeur, type de sol, teneur en eau, conductivité électrique, résistivité, pH et température. Un extrait de la base de données est présenté dans l'annexe B.

Cette base de données permettra d'estimer le potentiel corrosif du sol lors d'élaboration des hypothèses de calcul d'un projet, même avant de faire les essais de corrosivité. Cependant, cette estimation ne sera possible que dans le cadre de projets à proximité des endroits où il y a déjà des données répertoriées.

À l'origine, le sujet de ce fil rouge a pour objectif de faire avancer les adaptations de l'entreprise à la problématique des nouvelles exigences de la norme. De ce fait, la base de données représente les premiers pas vers les mises à jour, de plus, les outils de calculs EXCEL ont également été modifiés tout au long de ce stage.

5. L'ÉTUDE DE CONCEPTION D'UNE PAROI CLOUÉE

Les parois clouées sont des structures souples, qui admettent des déformations, et associent un parement en béton armé projeté avec des clous subhorizontaux en acier ancrés dans le terrain, comme montré sur la figure 5. Ces ouvrages sont habituellement à parement plan ou incliné et peuvent avoir des hauteurs significatives. Les clous travaillent surtout en traction et sont responsables pour garantir la stabilisation du massif de sol, de plus, la voile en béton est responsable pour distribuer les efforts et retenir la terre entre chaque ancrage. Globalement, ces ouvrages sont réalisés par passes de terrassements et sont drainés pour éviter la poussée hydrostatique. De plus, le dimensionnement est fait en conditions statiques et dynamiques (séisme).

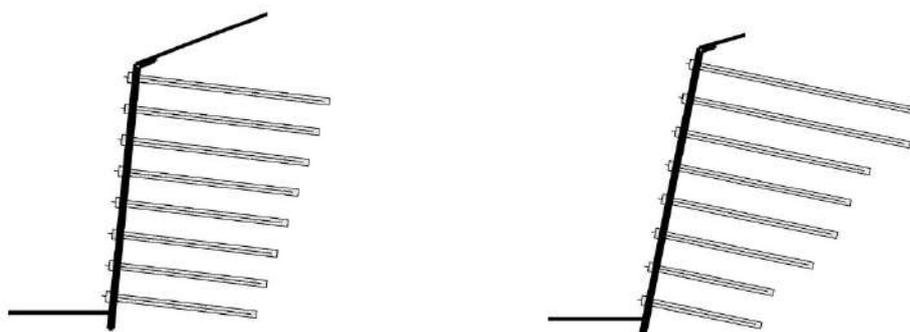


figure 5 – Massifs cloués à parement plan et incliné, source : Norme NF-P 94-270

Les étapes pour la réalisation d'une mission géotechnique de conception comprennent la présentation du site, du projet et de la zone étudiée ; le contexte géologique, hydrogéologique, géomorphologique du site aussi vis-à-vis des risques naturels ; les reconnaissances réalisées sur site ; les hypothèses géotechniques prises en considération lors des calculs ; le prédimensionnement ou dimensionnement de(s) solution(s) et les recommandations pour les phases suivantes d'études et des travaux.

Dans la suite, je présenterai une étude de conception d'une paroi clouée phase G2 PRO au droit d'un glissement de terrain sur la route départementale RD269 dans la Haute-Savoie (74). Il s'agit d'une étude que j'ai pu accompagner la phase avant-projet (G2 AVP) et la phase projet (G2 PRO). Le projet comprend le confortement du talus aval de route par la construction d'une paroi clouée, en plus, il est prévu la mise en œuvre d'un mur en enrochements bétonnés pour la protection des berges vue la présence d'un ruisseau qui s'écoule sur la partie basse du versant.

5.1 Présentation

5.1.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est située sur la commune de Menthon-Saint-Bernard dans le département de la Haute-Savoie (74). Le talus étudié est localisé au niveau de la RD269 comme la montre la figure 6.

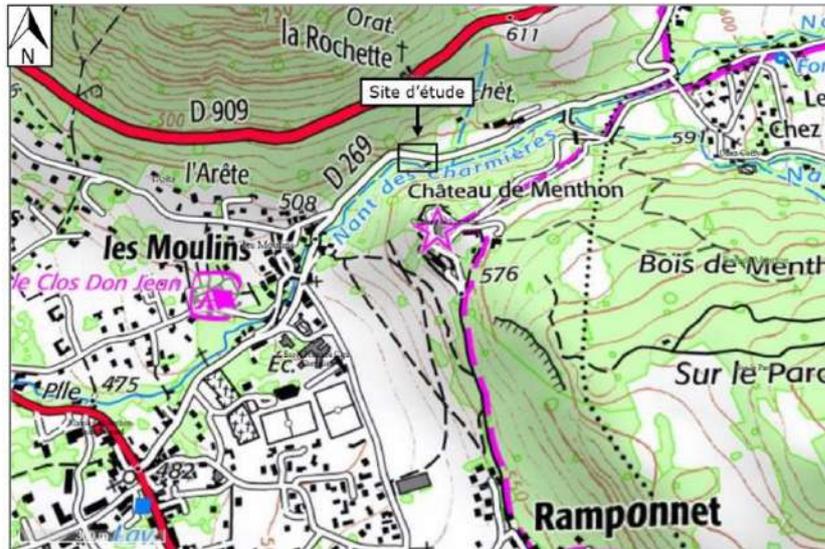


figure 6 - Localisation du site

5.1.2 Définition du projet

Le projet consiste à mettre en place une paroi clouée d'environ 2,5 m de hauteur associée à un ouvrage de protection des berges du type enrochements maçonnés, conforme prévoit le plan de l'étude hydraulique. La configuration envisagée est présentée sur la figure 7.

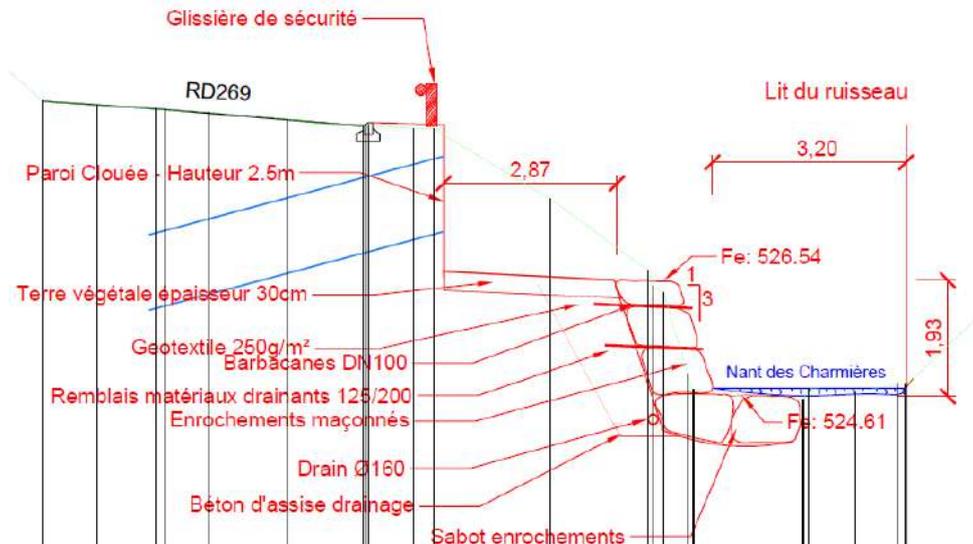


figure 7 - Plan du projet

5.1.3 Limites de l'étude

Les limites de la zone étudiée sont les deux traversées hydrauliques sous chaussée, comme le montre la photographie suivante (figure 8) :



figure 8 - Délimitation de la zone d'étude

5.2 Contexte Général du site

5.2.1 Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM à l'échelle 1/50 000^{ème} – feuille n°702 d'Annecy-Ugine représentée sur la figure 9, des formations géologiques diverses peuvent être trouvées, la plupart orientées NO/SE à pendage Est.

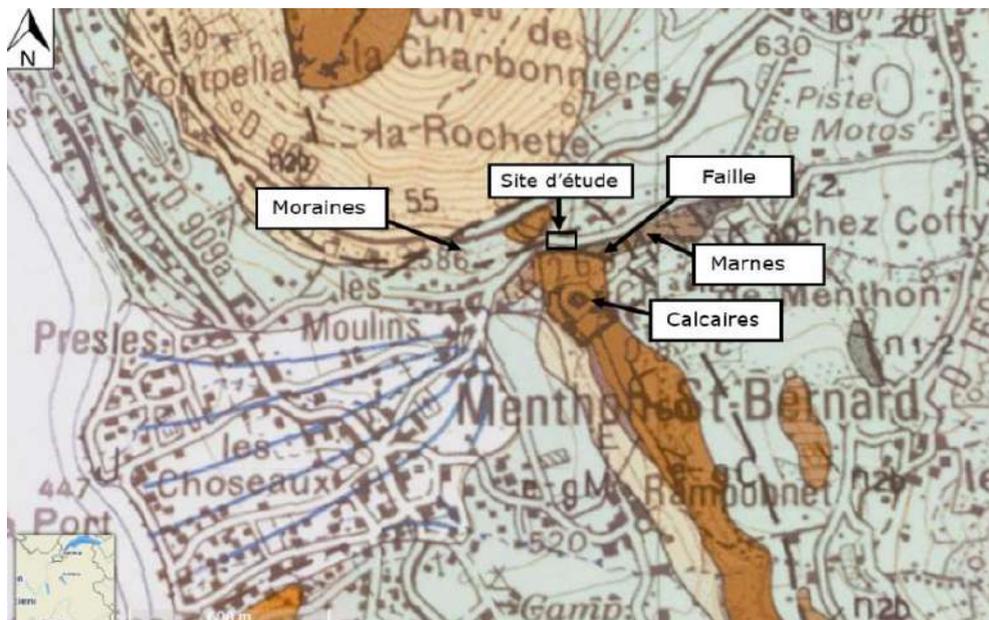


figure 9 - Extrait de la carte géologique de la France, source : Géoportail

Les formations plus importantes au niveau du site d'étude sont des dépôts morainiques et des recouvrements colluvionnaires en « verts ». Ils surmontent, sur la partie aval de la route, des calcaires plutôt massifs en « marron », délimités par une faille, et/ou des marnes et marno-calcaires de l'Hauterivien en « marron foncé ». Une formation également peu importante en « orange » sur la carte correspond à des calcaires gréseux, conglomérats et grès.

5.2.2 Contexte hydrogéologique

L'hydrologie de la zone d'étude est marquée par la présence du cours d'eau du Nant des Charmières qui s'écoule en partie basse du versant. Les ruisseaux Nant de Bluffy et Nant de Grange sont ses affluents. Plusieurs ruisseaux débouchant dans le Nant des Charmières en amont de la zone d'étude sont des cours d'eau temporaires, présentant une dynamique torrentielle et ayant creusé les différents thalwegs dans les talus en amont du Nant des Charmières. De plus, plusieurs ouvrages hydrauliques traversant la route dans la zone d'étude sont observés.

5.2.3 Contexte géomorphologique et avoisinants

La RD269 est située à une altitude de 529 m^{NGF} environ au niveau de la zone d'étude. La route se situe en partie basse de la rive droite du Nant des Charmières. Au niveau du projet, le talus aval est composé d'un ouvrage poids en gabions (3 niveaux) de hauteur environ 2,7 m et d'un talus incliné à ~30°.



figure 10 - Eléments morphologiques de la zone d'étude

Au droit de la RD269, d'aval en amont les éléments morphologiques suivants peuvent être distingués selon la figure 10 :

1. Le Nant et son lit sur environ 3,0 m de largeur ;
2. Un ouvrage de soutènement en gabions sur 3 niveaux ;

3. Le talus aval à la route départementale 269 avec une pente moyenne de 30° ;
4. La route départementale RD269 sur 5,5 m de large, hors accotement ;
5. Le talus amont à la route départementale, présentant une pente moyenne de 40° sur environ 3,7 m de hauteur, puis une pente moyenne à 30° plus en amont.

5.2.4 Contexte vis-à-vis des risques naturels

5.2.4.1 Zonage PPRN

La commune de Menthon-Saint-Bernard est soumise au PPRN d'octobre 2005 en vigueur, lequel indique la présence d'une zone d'aléa fort à l'endroit de l'ouvrage. D'après la carte des aléas, la zone est exposée aux risques de glissements de terrains, torrentiels et ruissellements.

5.2.4.2 Mouvements de terrain répertoriés

Aucun mouvement de terrain n'a été recensé à proximité du site d'étude. Le site est exposé à un aléa faible à fort de glissements de terrain.

5.2.4.3 Cavités souterraines répertoriées

Aucune cavité souterraine n'a été recensée à proximité du site d'étude.

5.2.4.4 Aléa retrait-gonflement des argiles

Le site est situé en zone d'aléa faible vis-à-vis du risque de retrait / gonflement des argiles.

5.2.4.5 Contexte vis-à-vis du risque sismique

Conformément au décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 relatif à la délimitation du zonage sismique du territoire français, la Menthon-Saint-Bernard se trouve en zone de **sismicité 4 (moyenne)**, sur une échelle allant de 1 à 4 en France Métropolitaine.

5.3 Reconnaissances géotechniques et modèle géologique

Dans cette section, les reconnaissances géotechniques qui ont été réalisés sont présentés, il s'agit des essais, des observations faites sur terrain ou même des données répertoriées sur les sites officiels. Au regard de ce projet, la campagne de reconnaissance est la suivante :

- Des reconnaissances naturalistes, des relevés des désordres en phase diagnostic et principe généraux de constructions (G5/G1-PGC) réalisée par GÉOLITHE en novembre 2022 ;
- 2 sondages destructifs menés à 10 m de profondeur avec réalisation de 9 essais pressiométriques (1 par mètre), notés SD1 et SP1.

L'implantation des investigations est représenté sur la figure 11.



figure 11 - Implantation des sondages SP1 et SD1

5.3.1 Résultats des sondages

Les sondages destructifs ont été réalisés par GINGER CEBTP le 07 février 2022 au niveau de l'accotement amont et aval. Le sondage SP1 a été conduit jusqu'à ~10 m de profondeur et comprend 9 essais pressiométriques repartis sur la hauteur de foration. Le sondage destructif SD1 du côté amont a été conduit jusqu'à ~10 m de profondeur.

5.3.2 Sondage SP1

Les résultats du sondage SP1 sont synthétisés dans le tableau 6.

Lithologie	Profondeur de la couche/TN (m)	Côte du toit (m ^{NGF})	Epaisseur (m)	E _M (MPa) moyenne harmonique	PI* (MPa) moyenne géométrique
Enrobé	De 0,0 à 0,15	529,29	0,15	-	-

Couche de forme	De 0,15 à 0,90	529,14	0,75	-	-
Remblai routier : limons graveleux	De 0,90 à 2,20	528,54	1,30	5,81	0,92
Calcaire altéré (gris à beige)	De 2,20 à 10,0	527,24	>7,8	97,5 à 380,1 (moy 160,3)	>4,84 à 5,67 (moy >4,96)

tableau 6 - Synthèse sondage SPI

Aucun niveau d'eau a été mis en évidence à au droit du sondage le 07/02/2022 du fait de la technique de forage (boue de forage).

5.3.3 Sondage SD1

Les résultats du sondage SD1 réalisé du côté amont de la route, sont synthétisés dans le tableau 7.

Lithologie	Profondeur de la couche /TN (m)	Côte du toit (m ^{NGF})	Epaisseur (m)
Enrobé	De 0,0 à 0,15	529,97	0,15
Couche de forme et colluvions indifférenciées	De 0,15 à 1,70	529,82	1,55
Calcaire altéré (gris à beige)	De 1,70 à 10,0	528,70	>8,30

tableau 7 - Synthèse sondage SD1

Aucun niveau d'eau a été mis en évidence à au droit du sondage le 07/02/2022 du fait de la technique de forage (boue de forage).

5.3.4 Synthèse des reconnaissances naturalistes

Les reconnaissances de terrain lors des missions d'études de diagnostic et principe généraux de construction (G5/G1-PGC) ont permis d'évaluer sur site la présence d'un décollement des enrobés avec la cunette d'écoulement des eaux en bordure aval, comme la montre la figure 12. La zone des désordres affecte l'accotement et s'étend sur une longueur de 19 m.



figure 12 - Signes du glissement sur la route

Sur cette zone de désordres, un basculement vers l'amont du regard de visite de la traversée sous chaussée est également observé (côté aval de la route). Le basculement de cet ouvrage a entraîné une fissuration de la chaussée. Ce désordre s'observait déjà sur les images Streetview d'août 2019.

Des désordres ont été observés dans la conduite de la traversée sous chaussée : il s'agit d'un décalage entre deux éléments de buse dans la première section aval. Les eaux passant dans la traversée sous chaussée s'infiltrent en partie dans les terrains au niveau de ce décalage, ce qui peut aggraver l'instabilité des terrains du talus aval de la route.

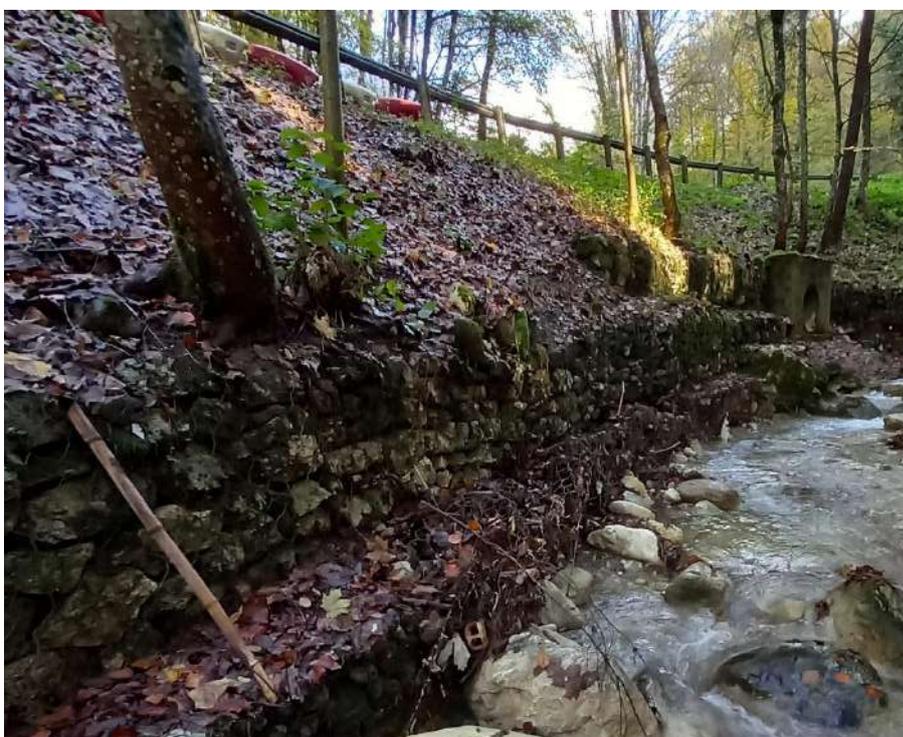


figure 13 - Vue sur l'ouvrage en gabions en pied du talus

En ce qui concerne l'ouvrage en gabions de berge et pied de talus (figure 13), il présente un état médiocre avec :

- Une déformation régulière sur l'ouvrage ;
- Une ouverture de la maille double torsion au niveau du rang inférieur et des gabions partiellement vidés sur ce rang inférieur du fait de l'érosion mécanique par la rivière mais aussi probablement une corrosion de l'acier de la maille ;
- L'extrémité aval de l'ouvrage ayant subi une déformation importante.

La zone est favorable à la dégradation mécanique par la force des eaux, vue la position de l'ouvrage par rapport à l'écoulement.

5.3.5 Modèle géologique de la zone d'étude

Par suite des observations et reconnaissances, la lithologie suivante est retenue :

- La chaussée : constituée par une couche d'enrobé d'environ 0,15 m et d'une couche de forme de 50 à 70 cm d'épaisseur ;
- Une couche superficielle de sols meubles, composée de limons graveleux sur une épaisseur de 1,20 m à 1,30 m correspondant à des remblais ou colluvions de pente indifférenciées ;
- Le substratum : composé de calcaires altérés. Le substratum est reconnu à partir de 2,20 m de profondeur au niveau de la demi-chaussée aval. Sur l'accotement amont le substratum est reconnu à partir de 1,70 m de profondeur. Ces calcaires altérés présentent des valeurs moyennement élevées de résistance.

La coupe géologique interprétative à partir des résultats des sondages destructifs est représenté sur la figure 14.

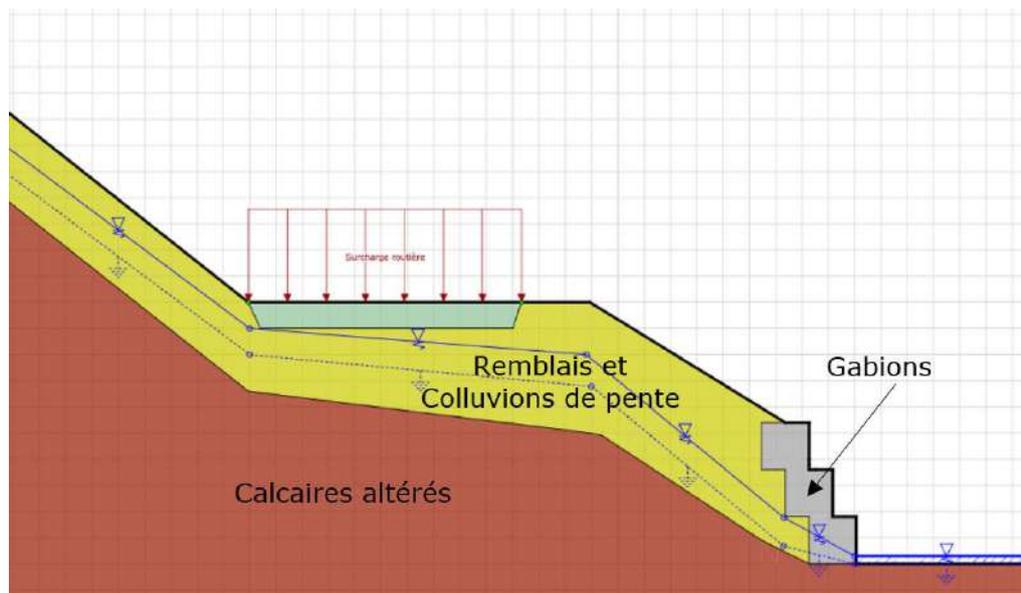


figure 14 - Coupe géologique retenue

5.3.6 Diagnostic des désordres

Selon les différentes observations sur site, les désordres remarqués (décollement des enrobés et de la cunette d'écoulement, déformation du talus aval, affaissement de l'accotement, déformation et ouverture de la maille du soutènement en gabions, sous-cavage des gabions et décalage des éléments de buse) sont dus à plusieurs facteurs concomitants ayant dégradé la stabilité générale du talus aval :

- Le facteur prédominant d'instabilité du talus aval est la perte de butée en pied de talus par altération de l'ouvrage de soutènement en gabions.
- Les eaux du nant s'écoulent de manière torrentielle, exerçant une force érosive importante sur leurs berges.
- Le facteur complémentaire diminuant également la stabilité du talus aval est l'infiltration et la circulation des eaux de ruissellements dans les couches superficielles de sol.

5.4 Hypothèses de calcul générales

Dans cette section quelques hypothèses sont établies, en particulier sur les paramètres du sol, puisque nous ne disposons pas d'essais de cisaillement. De plus, d'autres considérations sont faites sur le profil de calcul, sur la surcharge routière et les circulations d'eau.

5.4.1 Caractéristiques géomécaniques et analyse inverse

Les plages de valeurs estimées prudentes au stade de l'étude géotechnique de conception phase projet sont résumées dans le tableau 8. Elles ont été déterminées à partir de l'ensemble des résultats des reconnaissances disponibles, de l'expérience sur ce type de formations et d'un calcul inverse sur TALREN v5 :

Paramètres	Cohésion c (KPa)	Angle de frottement φ (°)	Poids volumique γ (KN/m ³)	Frottement latéral (*) $q_{s,k}$ (KPa)
1// Couche de forme	0	33	19	+
2/ Limons graveleux	2	28	18	60
3/ Calcaire altéré	10	35	21	280

4/ Gabions	20 (10 pour le gabion altéré)	35	17	-
5/ Enrochements bétonnés	20	3	24	-

tableau 8 - Caractéristiques géotechniques

(*) : Les q_s des sols sont établis par estimation selon les abaques CLOUTERRE 1991. Un coefficient de 1,6 est appliqué au q_s issu de ces abaques afin d'obtenir une valeur caractéristique. Les valeurs du tableau ci-dessus sont donc des valeurs pondérées. Valeur à valider par des essais de traction de conformité en phase exécution (G3).

Les valeurs indiquées dans le tableau correspondent à des caractéristiques géotechniques moyennes visant à définir dans son ensemble un horizon géologique. Ces valeurs ne sont pas représentatives d'éventuelles poches de terrain localisées pouvant avoir des caractéristiques différentes de cette moyenne (supérieures ou inférieures).

L'analyse inverse est effectuée avec le logiciel TALREN v5 afin de reproduire la situation actuelle, ainsi, aucun coefficient pondérateur n'est pris en compte. Ce calcul sert à fixer les caractéristiques de sol et à évaluer la stabilité initiale des terrains. Compte tenu des signes d'instabilités du talus, on cherche à obtenir un coefficient de sécurité FS environ égal à 1, c'est-à-dire un talus potentiellement instable. La surface de rupture critique est montrée dans la figure 15.

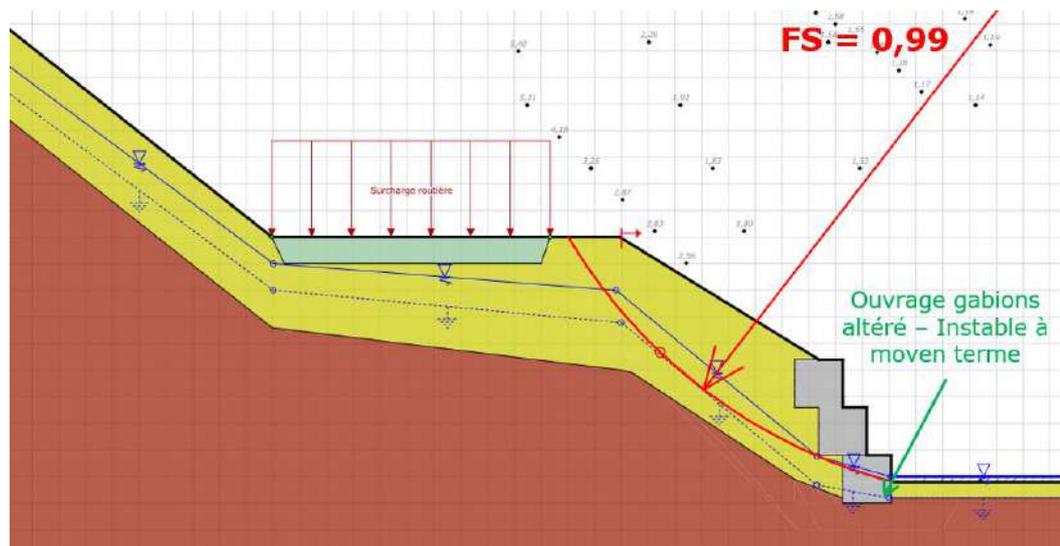


figure 15 - Surface instables ($F_s < 1,0$) et analyse des paramètres en stabilité inverse

Sans coefficient de pondération, il est considéré :

- $F < 1$: instable

- $1 \leq F < 1,10$: en limite de stabilité - stabilité faible
- $1,10 \leq F < 1,30$: stabilité faible à suffisante
- $1,30 \leq F < 1,50$: stabilité suffisante
- $F \leq 1,50$: Pas de problème de stabilité

Un facteur de sécurité FS = 0,99, correspondant à une instabilité du talus aval, est obtenu lors du calcul inverse présenté en annexe C. Ce modèle représente bien l'instabilité observée, avec un glissement des terrains de couverture dont la surface de rupture émerge en bordure aval de la chaussée de la RD269. Ce glissement est lié à un défaut de butée de pied du fait de la dégradation dans le temps de l'ouvrage de pied de talus.

5.4.2 Profil de calcul

Le profil de calcul correspond à l'association de paroi clouée avec un mur en enrochements bétonnés, pour la protection des berges. Ce dernier étant posé sur une couche de remblais matériaux drainants comme montre la figure 16.

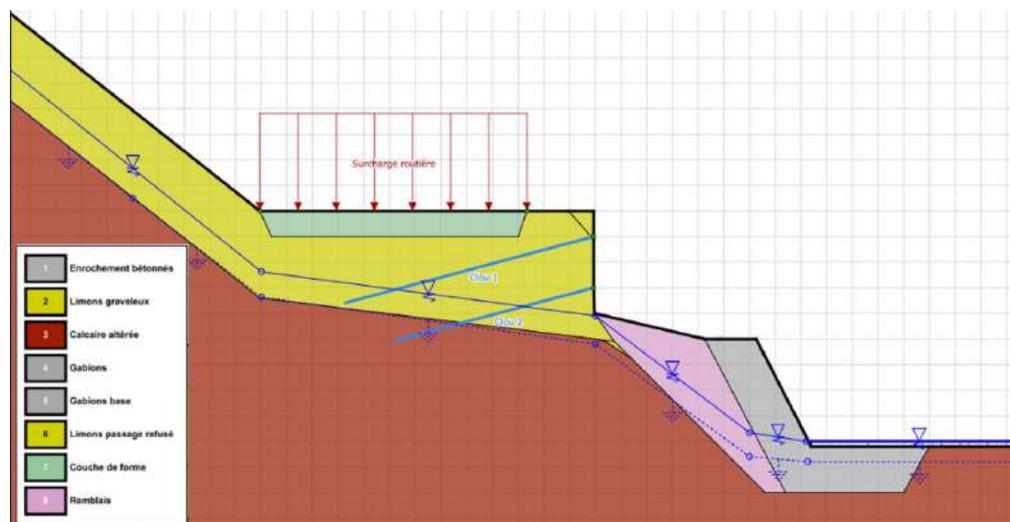


figure 16 - Profil d'étude pour la solution

5.4.3 Contraintes hydrogéologiques

Des circulations d'eau ont été observées en surface et sont probables au sein des remblais routiers et colluvions de pente, sur approximativement les 1 à 2,20 premiers mètres de terrain. La paroi clouée sera considérée drainée.

5.4.4 Surcharges

Une surcharge routière est appliquée au niveau de la RD269. Elle est modélisée par une charge linéaire répartie de 10 kPa.

5.5 Dimensionnement de l'ouvrage

Dès que les hypothèses de calculs sont définies, il est possible de démarrer le dimensionnement. L'analyse consiste à trouver une configuration stable à long terme ainsi que pendant la phase travaux, se basant sur l'approche de calcul définie dans la norme NF-P 94-270. Pour trouver la configuration optimale, il faut faire varier des paramètres tels que les longueurs et types de clous utilisés, les passes de terrassements, les espacements horizontaux entre clous, d'entre autres aspects. Les caractéristiques du dimensionnement sont présentées dans les paragraphes suivants.

5.5.1 Type d'ouvrage

L'ouvrage correspond à un ouvrage géotechnique permanent. La durée indicative d'utilisation de ces ouvrages est de 75 ans correspondant à une catégorie de durée de classe 4/5.

5.5.2 Géométrie de l'ouvrage

Le soutènement présentera une hauteur d'environ 2,50 m et 20 ml. Le parement en béton est prévu sur 20 cm d'épaisseur et sera ferrailé par deux nappes de treillis soudé. De plus, des ancrages de type GEWI 25 mm auront la géométrie suivante :

- Inclinaison : 15° ;
- Diamètre de forage : 76 mm ;
- Entraxe : 2 m ;
- Premier lit de clous :
 - à 0,5 m du niveau de la route,
 - Longueur : 5,0 m ;
- Deuxième lit de clous :
 - à 1,00 m du lit supérieur,
 - Longueur : 4,0 m.

La longueur des ancrages a été calée de manière à garantir un scellement dans la couche de calcaire altéré.

5.5.3 Contexte sismique

Le site est en **zone de sismicité 4** (moyenne). Étant donnée la présence du substratum à moins de 5 m, on considèrera une **classe de sol A**. L'ouvrage étudié étant situé en pied d'un versant, un coefficient topographique $S_T = 1$ est considéré. Les paramètres sont décrits dans le tableau 9.

Récapitulatif	
Zone de sismicité	4 (moyenne)
Accélération maximale de référence a_{gr}	1,6 m/s ²
Classe d'ouvrage	A risque normal
Catégorie d'importance de l'ouvrage	II
γ_l	1
Accélération de calcul a_g	1,6 m/s ²
$A = a_g/g$	0,163
A_{vg}/a_g	0,9
Classe de sol	A
Paramètre de sol (s)	1
Coefficient de réduction r	2
kh	0,082
kv	0,041

tableau 9 - Paramètres sismiques

5.5.4 Méthode de calcul et coefficients de pondération

Les calculs de stabilité pour la paroi clouée sont menés aux états limites ultimes (ELU) selon la norme NF-P 94-270. Du fait qu'on s'intéresse à la stabilité globale et à la stabilité mixte, les calculs sont réalisés avec l'approche 3. Alors, la combinaison des ensembles des facteurs partiels à appliquer selon l'annexe C de la norme suit la formule : « A2 » + « M2 » + « R3 ».

Ainsi on vérifie deux types de stabilité :

- La stabilité mixte qui considère les surfaces de rupture interceptent les renforcements ;
- La stabilité globale qui concerne la stabilité du massif dans son ensemble, avec des cercles de glissement qui passent à l'extérieur des renforcements.

Le logiciel TALREN v5 est utilisé pour vérifier la stabilité de l'ouvrage à partir de la méthode des tranches de Bishop. De cette manière, les cercles de ruptures rotationnelles sont recherchés. En plus, pour la géométrie du profil, la règle des 3H doit être respectée. C'est-à-dire

que l'influence de l'ouvrage est vérifiée dans une zone d'au moins trois fois la hauteur du parement.

Le tableau 10 indique les valeurs des coefficients de pondération à prendre en compte aux ELU sur les actions et sur les paramètres de sol et de structure. Dans ce cas, un coefficient de sécurité supérieur à 1,00 est cherché ($FS > 1,0$).

			NF-P 94-270 Approche 3 ELU fondamental
Charge permanente	Défavorable	γ_{Gsup}	1,0
	Favorable	γ_{Ginf}	1,0
Charge variable	Défavorable	γ_{Qsup}	1,3 1,0 (sismique)
	Favorable	γ_{Qinf}	1,0
Angle de frottement		$\gamma_{\phi'}$	1,25 1,0 (sismique)
Cohésion effective		$\gamma_{c'}$	1,25 1,0 (sismique)
Cohésion non drainée		γ_{cu}	1,4 1,0 (sismique)
Poids volumique		γ_{γ}	1,0
Pression limite pressiométrique		γ_{pl}	1,4
Limite d'élasticité		γ_s	1,15
Rupture en traction (Clous/barres)		γ_{M2}	1,25
Qs déduit d'essais d'arrachement		$\gamma_{M;f}$	1,15
Qs déduit des abaques		$\gamma_{M;f}$	1,15
Résistance globale au cisaillement sur une surface de rupture		$\gamma_{R;e}$	1,0
Facteur partiel de modèle		$\gamma_{R;d}$	1,1 (durable) 1,0 (sismique) 1,05 (transitoire)

tableau 10 - Récapitulatif des coefficients partiels de sécurité Approche 3

5.5.5 Force corrosive des sols

La norme NF-P 94-270 impose de connaître précisément la force corrosive des sols. Toutefois, au stade d'étude phase projet, aucun essai de corrosivité n'a été réalisé.

Dans ce cadre, l'analyse des critères de corrosion amène à un indice global de 12 comme montré sur le tableau 11 soit une catégorie de corrosion associée au sol et à l'eau de **II – Corrosif** (somme des critères A et C). La catégorie de corrosion associée à l'atmosphère est faiblement corrosive (C2).

	Critère	Caractéristiques	Critère A et C
Catégorie de corrosion associée au sol en place	Nature de sol	Argilo-sableuse	1
	Résistivité ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Sans mesure	5
	Humidité	Hors nappe - sol humide (teneur en eau > 20%)	2
	pH	Sans mesure	4
	Sensibilité	Structure courante	0
	Indice globale		$\Sigma A+C =$
Catégorie de corrosion associée à l'atmosphère		Faiblement corrosive	C2
Tête d'ancrage exposée à une corrosion atmosphérique (croix de St-André, plaques apparentes...)		oui	
Paramètres du projet	Catégorie de corrosion	II - Corrosif	
	Localisation de l'utilisation	Métropole	
	Durée d'utilisation	75 ans	

tableau 11 - Force corrosive du terrain

Cette catégorie de corrosion des sols (**corrosif**) impose la mise en œuvre d'ancrages avec protection obligatoire (**P.O.**).

5.5.6 Barres d'ancrage

Les ancrages envisagés sont de barres de type GEWI 25 ou équivalent avec P.O. et une nuance des aciers de 500 MPa, le tableau 12 résume les informations. En plus, une résistance de calcul sans P.O. est présentée pour un sol de catégorie moyennement corrosif, dans un possible cas de réduction de la classe de corrosivité. La formule pour le calcul de la résistance à la traction est la suivante :

$$R_{t;d} = \frac{f_{y;k} \cdot A_s}{\gamma_s}$$

- $f_{y,k}$: Valeur caractéristique de la limite élastique de l'acier (MPa)
- A_s : Section d'acier (m^2)
- γ_s : Facteur partiel pour la limite élastique de de l'acier (1,15)

Le calcul de la résistance à la traction même dans les cas d'emploi des protections obligatoires doit prendre en compte une épaisseur sacrifiée à la corrosion atmosphérique, si les têtes des ancrages sont exposées.

Type de barre	Diamètre (mm)	Limite rupture/ élastique (MPa)	Résistance traction $R_{t,d}$ (KN)
GEWI 25 avec P.O.	25	550 /500	207 (corrosion associée à l'atmosphère)
GEWI 25 sans P.O.			116 (corrosion associée au sol et à l'eau)

tableau 12 - Caractéristiques des ancrages

La limite élastique des clous après corrosion sera calculée selon la norme NF-P 94-270 en considérant :

- Une durée de vie de l'ouvrage de 75 ans ;
- Ouvrage de classe A ;
- Catégorie de corrosion II (**corrosif**) ;

Avec une protection contre la corrosion obligatoire (P.O.) hors galvanisation

Les ancrages seront dans des forages de diamètre minimal 76 mm. Ils seront inclinés à 15° sur l'horizontale.

5.5.7 Parement béton

Le parement en béton devra avoir les caractéristiques suivantes :

- Épaisseur : environ 0,20 m ;
- Classe : **XF2** et **XC4** (selon l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1) ;
- Hauteur : environ 2,50 m de haut sur 20 ml ;
- Ferrailage : deux nappes de treillis soudés dont le dimensionnement dépend de l'effort en tête des ancrages.
- Enrobage : 5,0 mm

5.5.8 Justification du parement en béton

Comme mentionné avant, le parement est dimensionné en considérant la géométrie et les résultats des calculs de stabilité. Les calculs sont menés selon l'Eurocode 2 – NF EN 1992, avec un béton de classe d'exposition XC4 et résistant à une saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage XF2.

D'après les résultats obtenus sous TALREN v5 on retient un effort de traction maximal généré dans les ancrages de 28 kN pour chaque ligne de clou. Ensuite, les calculs sur GEOSPAR permettent de retenir les treillis soudés décrites dans le tableau 13.

Côté terre	Section calculée	1,41 cm ² /m
	Ferraillage retenu	ST25C
Côté air	Section calculée	0,94 cm ² /m
	Ferraillage retenu	ST25C

tableau 13 - Ferraillage du parement en béton

Selon l'additif CLOUTERRE 2002, l'épaisseur minimale de la plaque se dimensionne avec la formule suivante :

$$e_{\min} = (T_{\text{ult}}/(\pi f_c))^{1/2}$$

Soit $e_{\min} = 6,16$ mm avec T_{ult} de 28 kN (valeur issue des calculs sous TALREN).

L'entreprise utilisera des plaques d'appui de **200 x 200 x 10 mm** au minimum. Les calculs issus de GEOSPAR sont disponibles dans l'annexe D.

5.5.9 Drainage

L'écran de soutènement sera équipé de barbacanes réparties sur toute la surface, à raison de 1 unité tous les 4 m². Les barbacanes, inclinées de 5°/horizontale, seront protégées par une chaussette géotextile filtre. En arrière de la paroi, les remblaiements se feront soit avec des remblais drainants dont les eaux seront collectées par un drain en pied de paroi et évacuées jusqu'au Nant des Charmières.

5.5.10 Justification de l'ouvrage sous Talren v5

Les conditions de stabilité d'une rupture par glissement mobilisant les barres d'ancrage sont vérifiées en configuration statique et en configuration sismique. Également, la stabilité globale du massif est assurée.

Les résultats des calculs de stabilité sous TALREN v5 sont présentés dans le tableau 14. De plus, les justifications de l'ouvrage en enrochements bétonnés ne sont pas traitées dans le cadre de ce rapport, une fois qu'elles sont basées sur les règles de calculs d'un mur poids classique, selon la norme NF-P 94-281. Ensuite, l'ouvrage en pieds a surtout comme rôle la protection du pied du talus.

Situation de calcul	Type de combinaison	Méthode de calcul	Approche de calcul	Coefficient de sécurité
Statique	Stabilité mixte	Bishop	Approche 3	1,26 ≥ 1,0 (phase provisoire) 1,89 ≥ 1,0

				(cercle de glissement passant par les ancrages)
	Stabilité générale			$1,68 \geq 1,0$
Sismique	Séisme pesant-stabilité mixte		Approche sismique	$1,58 \geq 1,0$
	Séisme allégeant-stabilité mixte			$1,60 \geq 1,0$

tableau 14 - Justification de l'ouvrage sous TALREN

La figure 17 affiche toutes les cercles de ruptures qui ont été calculé lors du dimensionnement sur le logiciel. Le cercle en rouge avec un facteur de sécurité associé FS = 1,89 est considéré comme le plus critique, aussi il s'agit d'une rupture qui passe par les ancrages (stabilité mixte).

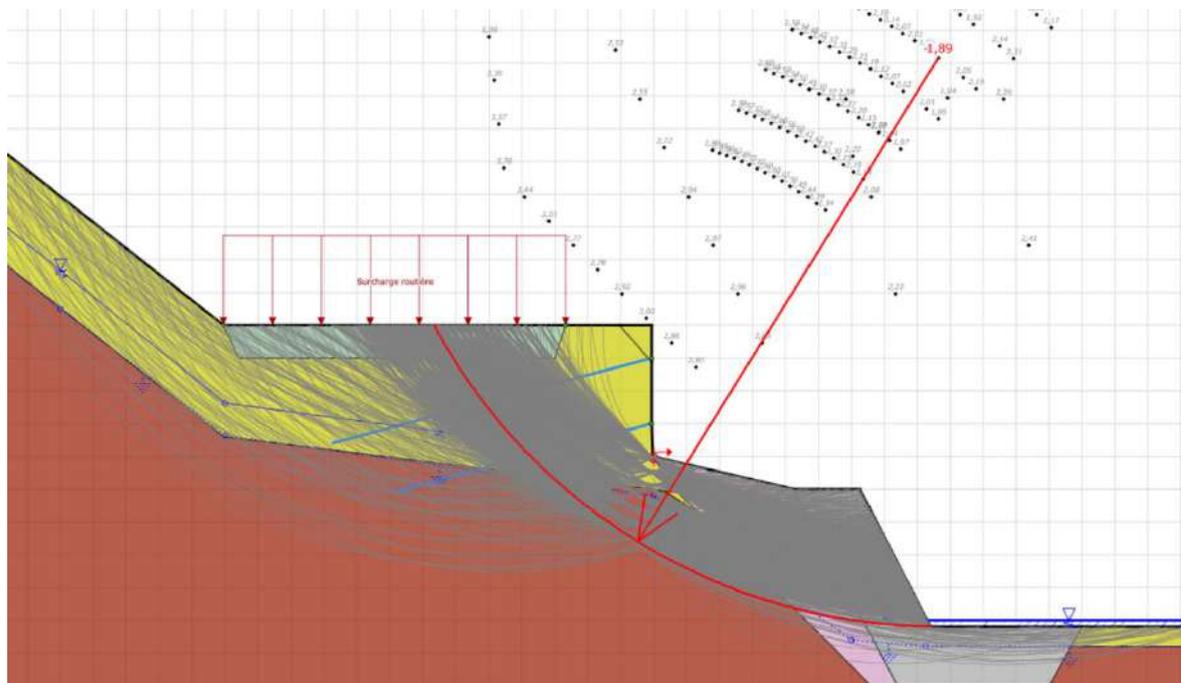


figure 17 - Résultat du calcul de la stabilité mixte

Les sorties de calculs sont présentées en annexe C .

5.6 Travaux et recommandations

La dernière étape d'une mission G2-PRO consiste en réfléchir sur la phase travaux. Ainsi, à partir du dimensionnement, l'ingénieur peut élaborer un chiffrage et planning estimatif, tout comme proposer des recommandations. Les instructions données sont relatives aux les travaux à venir et les prochaines étapes de études. Il s'agit de détailler l'exécution des ancrages, l'application du béton, les terrassements, le drainage, l'accès au chantier, entre autres.

Dans le cadre du projet présenté dans ce rapport l'enveloppe de travaux estimative est de 12 semaines hors période de préparation, les étapes sont détaillées dans le tableau 15. L'enveloppe globale des travaux comprend pour la paroi clouée :

- Les prix généraux et les travaux préparatoires ;
- Les essais de conformité et de contrôle ;
- La réalisation des terrassements et remblaiement ;
- La réalisation de la paroi clouée ;
- La reprise de la chaussée pour une largeur de 1,5 m sur 20 m d'extension le long de de la paroi clouée

Postes	Semaines												
	Période de préparation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Préparation du chantier													
Réalisation de la paroi clouée													
- Mise en place de l'écran drainant / barbacanes													
- Réalisation des ancrages													
- Ferrailage / Parement béton projeté													
Réfection de la demi-chaussée amont de la RD269													
Réalisation de la tranchée drainante à l'avancement yc traversée sous chaussée et exutoire													
Réfection de la RD269 yc reprise de la traversée sous chaussée Nord existante													

tableau 15 - Enveloppe des travaux

6. CONCLUSION

Compte tenu des éléments présentés dans ce rapport, la conception des ouvrages géotechniques intègre une analyse multifactorielle des différentes données. Il est essentiel de bien connaître le site d'étude, les exigences réglementaires et les éventuels risques associés. L'objectif principal est de garantir la faisabilité, ainsi que la solidité et la sécurité de l'ouvrage pendant les phases de travaux et en phase définitive.

Dans ce contexte, assurer la durabilité d'un ouvrage type paroi clouée exige que les armatures soient performantes tout au long de sa vie utile, résistant donc aux effets de la corrosion. En ce sens, la nouvelle norme NF-P 94-270 a fait progresser quelques éléments qui ont permis de préciser plus correctement la catégorie corrosive d'un sol, augmentant le niveau de protection des ancrages.

Pour conclure, au-delà des projets de conception des ouvrages, la profession de l'ingénieur géotechnicien concerne des compétences multiples. Ce stage a grandement contribué à ma formation et m'a permis de mieux comprendre les défis du métier, toutes ses exigences et attributions. De plus, il m'a permis de progresser dans le domaine de la géotechnique.

7. BILAN DES COMPÉTENCES

Dans le cadre de mon stage en tant qu'assistant ingénieur en bureau d'études, ayant comme sujet de stage des études de conception des ouvrages géotechniques quelques compétences étaient plus susceptibles d'être exploitées que d'autres. D'après le guide des compétences de l'ingénieur géotechnique de la formation Polytech, j'aimerais souligner, d'un point de vue plus technique, les compétences 1, 2 et 3 étaient les plus développées dans ce contexte. Il s'agit des compétences requises à travers du développement de mon travail dans le bureau.

Compétence 1 : définir un programme de reconnaissance

- Diagnostic géotechnique après sinistre : Rechercher les causes géotechniques du sinistre, proposer des reconnaissances supplémentaires.

Compétence 2 : évaluer les risques géologiques et géotechniques d'un site

- Identification des aléas naturels, des problèmes environnementaux et géotechniques. : Effectuer une synthèse des données distantes (bibliographie et base de données) ; Réaliser une reconnaissance de terrain (géomorphologie, enquête de voisinage) ;
- Analyse du risque : Evaluer les dommages potentiels Proposer des solutions pour réduire le risque Participer à l'analyse coût /bénéfice ;
- Communication du risque : Traduire une situation complexe pour la rendre intelligible Rendre compte par écrit et à l'oral en Français et en Anglais.

Compétence 3 : concevoir des ouvrages

- Etudes d'avant - projet et de projet : Vérifier l'adaptation de l'ouvrage au terrain Vérifier la stabilité et la déformabilité de l'ouvrage Prendre en compte les aspects environnementaux.

Ensuite, en prenant comme référence les objectifs de la formation de l'ingénieur, notamment, je pourrais souligner les compétences suivantes ;

L'acquisition des connaissances scientifiques et techniques et la maîtrise de leur mise en œuvre :

3. la maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur : identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes, la pratique du travail collaboratif et à distance

4. la capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants

6. la capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : « compétence informationnelle »

Dans un coté plus transversale, j'aimerais mettre en évidence quelques autres compétences travaillées au long de ce temps. À l'évidence, en ce qui concerne l'environnement professionnel, je pense que je me suis bien intégré à l'équipe et que j'ai pu m'adapter aux besoins de la société. En plus, en tant qu'étudiant international, je pense que j'ai pu développer d'autres compétences liées à la dimension culturelle. De manière générale j'aimerais souligner les points suivants :

L'adaptation aux exigences propres de l'entreprise et de la société :

8. la capacité à identifier les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité capacité à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable.

10. la capacité à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société. La prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle.

La prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle :

11. la capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maîtrise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non – spécialistes.

13. la capacité à travailler en contexte international et multiculturel : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux.

De mon point de vue, ce stage m'a permis de développer des compétences professionnelles et personnelles, en plus, je l'ai beaucoup apprécié. L'entreprise m'a fourni tous les outils et moyens nécessaire pour développer mon travail et l'ambiance était très agréable. De ce fait, je pense que c'était une expérience très positive et cela m'aidera certainement à m'intégrer plus tard sur le marché de travail.

8. SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE DE L'ENTREPRISE

GÉOLITHE s'engage à bien accompagner la consommation énergétique de toutes ses agences et filières, l'objectif chaque année est de réduire cette consommation en 10 % par rapport à l'année précédent. Ensuite, quelques autres actions sont encouragées par l'entreprise, tels que l'incitation à la mobilité douce avec la possibilité de gagner un prime à la fin de l'année, le réglage du chauffage et de la climatisation, l'évitement de déplacements intra-métropole en avion par les collaborateurs, l'incitation aux réunions en visioconférence et au télétravail pour éviter l'empreinte liées aux transports carburés, d'entre autres initiatives disponibles dans l'annexe E.

De plus, le développement d'un outil pour le calcul du bilan carbone des ouvrages est en cours. Il s'agit d'intégrer dans les projets de conception des ouvrages une estimation de l'impact environnemental de chaque ouvrage, afin de faire une idée aux clients et d'ajouter un autre critère de choix d'une solution. Un projet scientifique d'initiation à la recherche et au développement (PIRD) de deux élèves du cours de Géotechnique et Génie Civil à Polytech Grenoble, Quentin FOURMESTRAUX et Aimen ZOUAOUI avec l'orientation de Laurent THEVENOT, ont réalisé la comparaison de l'empreinte carbone pour la construction d'un mur en pierre sèche et d'une paroi clouée, cette étude marque les premiers pas vers l'implantation de l'outil.

9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR. NF-P 94-270. Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Remblais renforcés et massifs en sol cloué. Octobre 2020.

AFNOR. NF-P 94-500. Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications. Novembre 2013.

AFNOR. NF EN 1537. Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Tirants d'ancrage. Septembre 2013.

AFNOR. NF EN 1998-1. Eurocode 8- Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Septembre 2005.

AFNOR. NF EN 1998-5. Eurocode 8- Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques. Septembre 2005.

AFNOR. NF ISO 11265. Qualité du sol – Détermination de la conductivité électrique spécifique. Janvier 1995.

AFNOR. NF-P 94-050. Sols : reconnaissance et essais – Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Septembre 1995.

AFNOR. NF ISO 10390. Sols, biodéchets traités et boues – Détermination du pH. Mars 2022.

CHAU, T. L. (2010). **Effet de la corrosion des armatures sur le comportement des murs en remblai renforcé par des éléments métalliques**, Thèse, Université Paris-Est.

CLOUTERRE (1991). **Recommandations pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols**. Projet national Clouterre. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

CLOUTERRE (2002). **Additif 2002 aux recommandations CLOUTERRE 1991**. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Décret n°2010 - 1255 portant sur la délimitation des zones de sismicité sur le territoire français.
22 octobre 2010.

DOUDOUX B., BARFÉTY J.C., CARFANTAN J.C., TARDY M., NICOUD G. (1992) — Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Annecy—Ugine (702) — Orléans : BRGM, 62 p. Carte géologique par DOUDOUX B., ROSSET J., BARFÉTY J.C., CARFANTAN J.C., PAIRIS J.L. et coll.

MANSOUR, H. B. (2018). **Etude du comportement à la corrosion des armatures tendues dans le béton contaminé par des ions chlorure : Effet anticorrosif d'un inhibiteur à base de phosphates**, Thèse, Université de Lyon et Université de Tunis El-Manar.

SHIU, H. Y., CHEUNG, R. W. (2008). Long-term durability of steel soil nails in Hong Kong. **HKIE Transactions**, 15(3), 24-32.

WU H, YU J, ZHOU J, LI W, LEUNG CKY. (2021). Experimental Study on Chloride-Induced Corrosion of Soil Nail with Engineered Cementitious Composites (ECC) Grout. **Infrastructures**. 6(11), 161.

ANNEXES

A. EXTRAIT DE LA NORME NF-P 94-500

4.2.4 Tableaux synthétiques

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

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 avec détection au plus tôt de leur survenance	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		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

B. BASE DE DONNÉES GÉOLITHE

pH	ρ (Ω .cm)	Σ
<4	<1000	4,0 ou 5,0
4 à 5	1000 à 2000	3,0
5 à 6	2000 à 5000	2,0
>6	> 5000	0,0

Corrosivité des sols												
N° dossier	Chantier	Département	Echantillon	Profondeur (m)	Type de sol	Teneur en eau (%)	σ (mS.m)	ρ (Ω .cm)	pH	T (°C)		
14-056	Perros Guirec	35	2	3	Limons sablo-graveleux	14,92	40,4	2475	7,75	25		
14-056	Perros Guirec	35	4	3	Limons sableux	20,03	2,0	50000	6,50	25		
16-308	Lamballe	22	1	-	Cutting rocheux	0,13	12,9	7752	7,48	25		
16-308	Lamballe	22	2	-	Cutting rocheux	0,07	8,0	12500	7,24	25		
16-308	Lamballe	22	3	-	Cutting rocheux	0,26	9,2	10870	7,40	25		
17-446	Saint-Marc-sur-Mer	44	2	2,0-3,0	Cutting rocheux	-	15,0	6667	5,30	25		
17-446	Saint-Marc-sur-Mer	44	3	4,0-9,5	Cutting rocheux	-	11,4	8772	7,17	25		
18-060	Nantes	44	1	-	Sable	-	42,1	2375	8,14	25		
18-060	Nantes	44	2	-	Sable	-	41,9	2387	8,31	25		
18-060	Nantes	44	3	-	Sable	-	42,0	2381	8,56	25		
18-060	Nantes	44	4	-	Sable	-	42,5	2353	8,66	25		
18-060	Nantes	44	5	-	Sable	-	40,9	2445	8,52	25		
18-060	Nantes	44	6	-	Sable	-	41,5	2410	8,46	25		
20-086	Chantilly	60	1	-	Cutting de calcaire (R2)	14,10	25,4	3937	8,53	25		
20-086	Chantilly	60	2	-	Cutting de calcaire (R2)	12,82	52,8	1894	8,36	25		
20-086	Chantilly	60	3	-	Cutting de calcaire (R2)	19,40	38,5	2597	8,36	25		
20-086	Chantilly	60	5	-	Cutting de calcaire (R2)	10,60	4,4	22727	7,77	25		
20-086	Chantilly	60	6	-	Cutting de calcaire (R2)	12,17	20,4	4902	6,78	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	1	2,4-4	Sable limoneux	-	15,2	6579	7,58	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	2	1,0-2,5	Sable limoneux	-	17,7	5650	7,55	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	3	2,9-4,0	Sable limoneux	-	15,2	6579	7,60	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	1	2,4-4	Sable limoneux	-	15,2	6579	7,58	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	2	1,0-2,5	Sable limoneux	-	17,7	5650	7,55	25		
21-195	Saint-Nazaire	44	3	2,9-4,0	Sable limoneux	-	15,2	6579	7,60	25		
22-0790	Fecamp	76	1	-	Sables limoneux	-	882,9	113	7,82	25		
22-0790	Fecamp	76	2	-	Sables limoneux	-	55,3	1808	8,65	25		
22-0790	Fecamp	76	3	-	Sables limoneux	-	399,4	250	7,79	25		
22-0790	Fecamp	76	4	-	Sables limoneux beige	-	321,9	311	7,96	25		
22-0046	RD22-Vinzier	74	1	2,0	Calcaire	-	14,0	7143	8,54	25		
22-0046	RD22-Vinzier	74	2	2,0	Calcaire	-	12,9	7752	8,30	25		

C. RÉSULTATS ISSUS DES CALCULS TALREN V5

Données du projet

Numéro d'affaire : 22-0899

Titre du calcul : Confortement talus aval

Lieu : RD 269

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γ_w : 10,0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Enrochement bétonnés		24,0	35,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Limons graveleux		18,0	28,00	2,0	0,0	60,0	-	-	Non	Non	Non
3	Calcaire altérée		21,0	35,00	10,0	0,0	280,0	-	-	Non	Non	Non
4	Gabions		17,0	40,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Gabions base		17,0	35,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
6	Limons graveleux passage refusé		18,0	28,00	2,0	0,0	60,0	-	-	Non	Non	Non
7	Couche de forme		19,0	33,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
8	Remblais		20,0	33,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	$\Gamma\gamma$	Γc	$\Gamma \tan(\phi)$	Type de cohésion	Courbe
1	Enrochement bétonnés		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Limons graveleux		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Calcaire altérée		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Gabions		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Gabions base		-	-	-	Effective	Linéaire
6	Limons graveleux passage refusé		-	-	-	Effective	Linéaire
7	Couche de forme		-	-	-	Effective	Linéaire
8	Remblais		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	3,953	2	4,972	0,000	3	11,467	-0,000	4	15,633	-2,300	5	15,700	-4,600	6	20,000	-4,600
7	14,733	-3,200	8	15,633	-3,200	9	14,733	-2,300	10	15,183	-2,300	11	15,183	-3,200	12	15,183	-4,100
13	16,083	-4,100	14	16,083	-3,200	15	15,756	-3,200	16	15,879	-4,100	17	15,633	-4,100	18	14,733	-4,100
19	16,533	-4,100	20	16,533	-4,600	21	14,733	-5,000	22	15,633	-4,600	23	10,167	0,000	24	4,972	-1,700
25	11,500	-2,500	26	15,633	-3,103	27	14,733	-2,908	28	0,000	2,253	29	11,700	-2,550	34	5,200	-0,500
35	10,000	-0,500	36	14,733	-4,550	37	14,733	-2,500	40	10,978	-0,000	41	11,467	-0,557	47	16,308	-4,100
48	15,633	-3,000	49	14,733	-2,958	51	11,467	-1,500	52	14,733	-2,768	53	13,924	-2,500	54	15,500	-5,000
55	15,500	-3,200	56	15,500	-4,100	57	15,500	-4,933	58	13,627	-2,500	59	14,800	-5,500	60	11,867	-2,550
62	12,038	-2,773	63	12,207	-2,885	64	15,200	-5,500	65	14,938	-5,000	66	14,733	-4,609	67	14,685	-4,519
68	18,000	-4,600	69	17,500	-5,500	70	14,627	-2,500	71	14,813	-2,962	72	14,909	-3,200	73	15,183	-3,882
74	15,271	-4,100	75	15,500	-4,669	76	14,733	-2,693	77	14,783	-2,783	78	14,883	-2,966	79	15,012	-3,200
80	15,183	-3,511	81	15,500	-4,087	82	15,507	-4,100	83	15,633	-4,329	84	14,733	-2,707	85	14,770	-2,779
86	14,865	-2,965	87	14,985	-3,200	88	15,183	-3,588	89	15,445	-4,100	90	15,500	-4,209	91	15,633	-4,469
92	15,500	-4,593	93	15,469	-4,591	94	16,533	-5,000	95	15,633	-5,000	96	11,483	-2,000	97	11,832	-2,500
98	13,500	-4,000	99	11,987	-2,500	100	12,710	-3,217	101	20,000	-4,900	102	16,533	-4,900	103	17,833	-4,900
104	15,633	-4,902	105	15,544	-4,867	106	15,529	-4,861	107	15,500	-4,850						

Segments (1/2)

	Point 1	Point 2																		
1	1	2	6	10	3	7	4	10	8	10	9	14	14	15	17	15	8	22	16	13
23	13	14	25	16	17	26	5	20	33	19	20	34	5	22	35	2	23	39	26	8
44	24	25	45	28	24	46	25	29	48	2	34	49	34	35	50	35	23	51	18	36
56	9	37	59	40	3	60	40	23	61	40	41	62	41	3	75	47	13	76	47	19
79	48	26	80	48	4	83	49	27	84	49	7	91	41	51	94	52	27	96	52	53
99	53	51	101	12	18	106	55	8	107	55	11	112	36	57	114	57	54	120	62	29
123	25	60	124	60	63	125	63	62	127	63	59	128	53	58	130	64	65	131	65	21
132	65	54	133	65	66	134	66	21	135	66	36	136	66	67	138	67	36	139	67	58
140	59	64	141	6	68	142	20	68	143	64	69	145	53	70	147	70	52	148	52	71
150	71	49	151	71	72	153	72	7	154	72	73	156	73	12	157	73	74	159	74	12

Segments (2/2)

	Point 1	Point 2																		
163	75	22	166	76	37	175	79	11	178	80	11	181	81	56	182	81	82	183	82	56
184	82	17	187	83	17	189	70	84	190	84	76	191	84	52	192	84	85	193	85	77
194	85	52	195	85	86	196	86	78	197	86	71	198	86	87	199	87	79	200	87	72
201	87	88	202	88	80	203	88	73	204	88	89	205	89	74	206	89	56	207	89	90
209	90	56	210	90	91	211	91	83	212	91	22	213	91	5	214	22	92	215	92	90
216	92	75	217	92	93	218	93	74	219	93	75	220	93	36	223	54	95	224	94	95
226	25	96	227	51	96	228	96	58	229	60	97	230	97	25	232	97	96	233	96	99
234	99	97	235	99	58	236	99	100	237	100	67	238	100	63	239	100	98	240	98	59
241	94	102	242	20	102	243	101	103	244	103	69	245	103	68	246	103	102	247	22	104
248	95	104	249	104	105	250	105	22	251	105	54	252	105	106	253	106	57	254	106	22
255	106	107	256	107	75	257	107	57	258	107	36									

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Surcharge routière	4,972	0,000	10,0	10,167	0,000	10,0	90,00

Clous

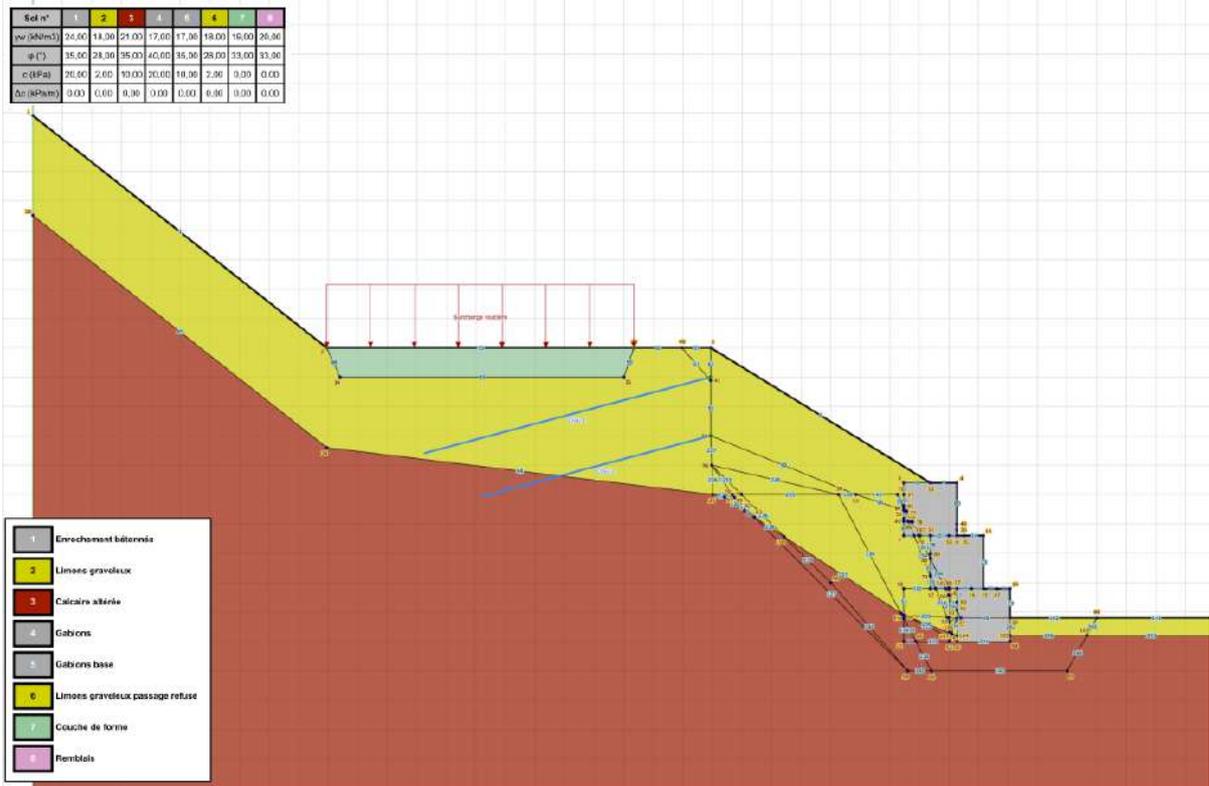
	Nom	X	Y	Espacement horizontal	Inclinaison/horizontale	Largeur base de diffusion	Angle de diffusion	TR	Longueur	Rsc
1	Clou 1	11,467	-0,500	2,000	15,00	1,000	10,00	207,0	5,000	-
2	Clou 2	11,467	-1,500	2,000	15,00	1,000	10,00	207,0	4,000	-

Clous (cont.)

	Nom	Rayon équivalent	Règle de calcul	Cisaillement imposé Rcis	Moment de plastification	EI	Angle critique	Traction	Cisaillement
1	Clou 1	0,038	Tcal,Cimp	0,0	-	-	5,00	Externe	-
2	Clou 2	0,038	Tcal,Cimp	0,0	-	-	5,00	Externe	-

Clous (cont.)

	Nom	qsclous issus de...	θbarre	oe	Valeur de TR donnée	Rsc calculée à partir de qs	Cisaillement variable le long du clou
1	Clou 1	Abaques	-	-	Oui	Oui	Non
2	Clou 2	Abaques	-	-	Oui	Oui	Non



Données de la phase 1

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Limons graveleux	6	10	3	Limons graveleux	7	4	10	Gabions
8	10	9	Gabions	14	14	15	Gabions	17	15	8	Gabions
23	13	14	Gabions	33	19	20	Gabions	35	2	23	Couche de forme
39	26	8	Gabions	44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée
46	25	29	Calcaire altérée	48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux
50	35	23	Limons graveleux	51	18	36	Limons graveleux	56	9	37	Gabions
59	40	3	Limons graveleux	60	40	23	Limons graveleux	75	47	13	Gabions
76	47	19	Gabions	79	48	26	Gabions	80	48	4	Gabions
83	49	27	Gabions	84	49	7	Gabions	94	52	27	Gabions
101	12	18	Gabions	120	62	29	Calcaire altérée	125	63	62	Calcaire altérée
131	65	21	Calcaire altérée	132	65	54	Calcaire altérée	134	66	21	Gabions
135	66	36	Gabions	138	67	36	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux
142	20	68	Limons graveleux	153	72	7	Limons graveleux	156	73	12	Gabions
166	76	37	Gabions	175	79	11	Limons graveleux	178	80	11	Limons graveleux
190	84	76	Gabions	191	84	52	Gabions	199	87	79	Limons graveleux
200	87	72	Limons graveleux	202	88	80	Limons graveleux	203	88	73	Gabions
223	54	95	Calcaire altérée	224	94	95	Calcaire altérée	237	100	67	Calcaire altérée
238	100	63	Calcaire altérée	241	94	102	Calcaire altérée	242	20	102	Limons graveleux
243	101	103	Calcaire altérée	246	103	102	Calcaire altérée				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle				
1	0,000	3,257	0,00	2	5,000	-0,500	0,00	3	11,400	-1,000	0,00	4	15,157	-4,118	0,00	5	16,520	-4,500	0,00
6	20,000	-4,500	0,00																

Fond de la nappe

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,00	2,75	2	5,00	-1,00	3	11,50	-1,61	4	15,15	-4,66
6	20,00	-4,90									

Données de la situation 1

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	$\Gamma_{s'1}$	1,000	Γ_{ϕ}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{bulon}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 12,221; Y= -2,166

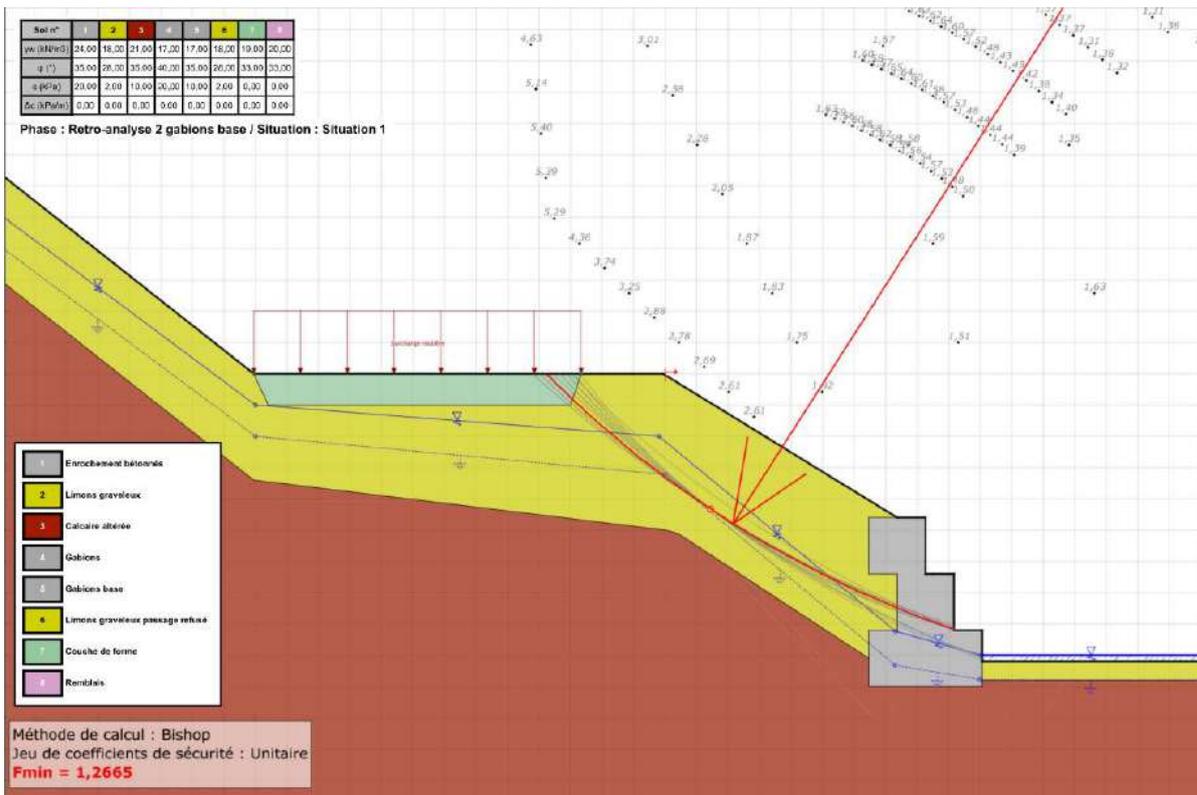
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2665

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2536; X0= 21,57; Y0= 11,77; R= 16,78



Données de la phase 2

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base - 1 gabion altéré

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Limons graveleux	6	10	3	Limons graveleux	7	4	10	Gabions
8	10	9	Gabions	14	14	15	Gabions	17	15	8	Gabions
22	16	13	Gabions base	23	13	14	Gabions	25	16	17	Gabions base
33	19	20	Gabions base	35	2	23	Couche de forme	39	26	8	Gabions
44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée	46	25	29	Calcaire altérée
48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux	50	35	23	Limons graveleux
51	18	36	Limons graveleux	56	9	37	Gabions	59	40	3	Limons graveleux
60	40	23	Limons graveleux	75	47	13	Gabions base	76	47	19	Gabions base
79	48	26	Gabions	80	48	4	Gabions	83	49	27	Gabions
84	49	7	Gabions	94	52	27	Gabions	101	12	18	Gabions
120	62	29	Calcaire altérée	125	63	62	Calcaire altérée	131	65	21	Calcaire altérée
132	65	54	Calcaire altérée	134	66	21	Gabions	135	66	36	Gabions
138	67	36	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux	142	20	68	Limons graveleux
153	72	7	Limons graveleux	156	73	12	Gabions	166	76	37	Gabions
175	79	11	Limons graveleux	178	80	11	Limons graveleux	187	83	17	Gabions
190	84	76	Gabions	191	84	52	Gabions	199	87	79	Limons graveleux
200	87	72	Limons graveleux	202	88	80	Limons graveleux	203	88	73	Gabions
211	91	83	Gabions	212	91	22	Gabions base	223	54	95	Calcaire altérée
224	94	95	Calcaire altérée	237	100	67	Calcaire altérée	238	100	63	Calcaire altérée
241	94	102	Calcaire altérée	242	20	102	Limons graveleux	243	101	103	Calcaire altérée
246	103	102	Calcaire altérée	247	22	104	Gabions base	248	95	104	Gabions base

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle				
1	0,000	3,257	0,00	2	5,000	-0,500	0,00	3	11,400	-1,000	0,00	4	15,157	-4,118	0,00	5	16,500	-4,500	0,00
6	20,000	-4,500	0,00																

Fond de la nappe

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y			
1	0,00	2,75	2	5,00	-1,00	3	11,50	-1,61	4	15,15	-4,66	5	16,50	-4,90
6	20,00	-4,90												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base - 1 gabion altéré

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_p	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,trans,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,trans,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,trans}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 12,221; Y= -2,166

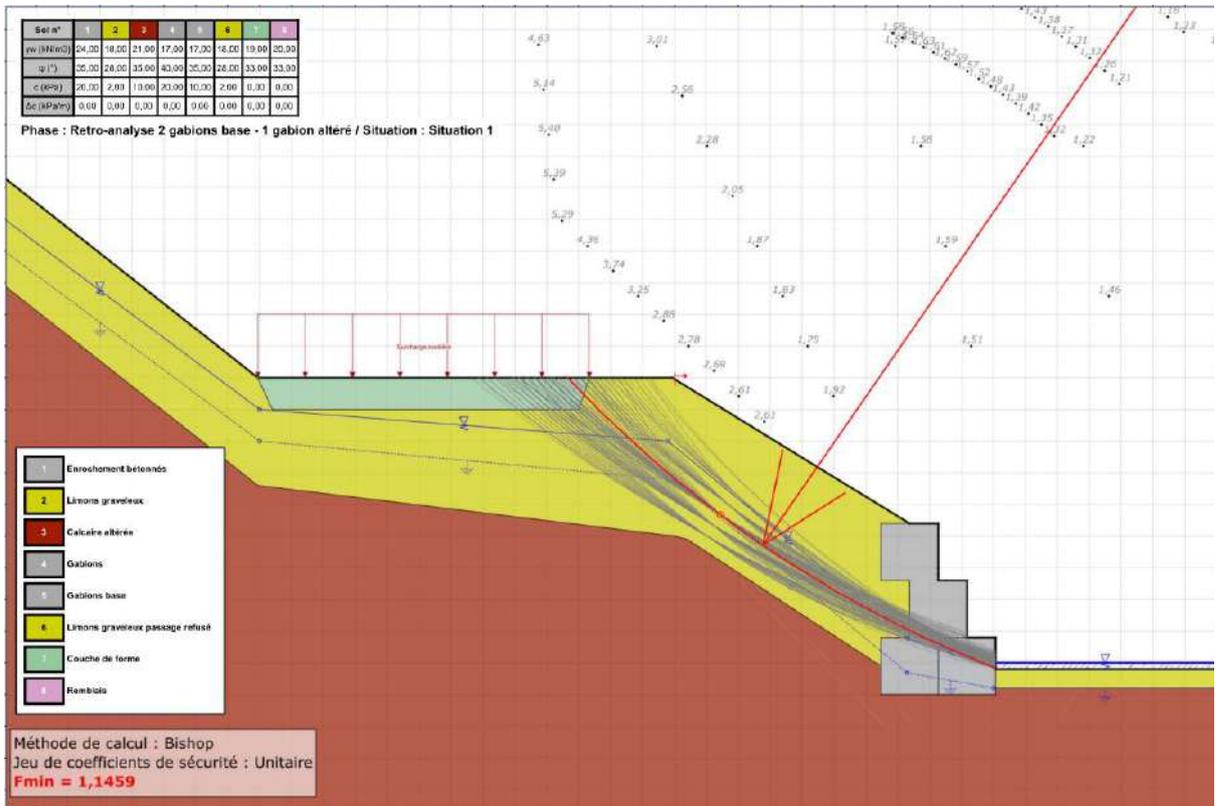
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1459

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2054; X0= 23,27; Y0= 12,46; R= 18,33



Données de la phase 3

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Limons graveleux	6	10	3	Limons graveleux	7	4	10	Gabions
8	10	9	Gabions	14	14	15	Gabions	17	15	8	Gabions
23	13	14	Gabions	33	19	20	Gabions	35	2	23	Couche de forme
39	26	8	Gabions	44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée
46	25	29	Calcaire altérée	48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux
50	35	23	Limons graveleux	56	9	37	Gabions	59	40	3	Limons graveleux
60	40	23	Limons graveleux	75	47	13	Gabions	76	47	19	Gabions
79	48	26	Gabions	80	48	4	Gabions	83	49	27	Gabions
84	49	7	Gabions	94	52	27	Gabions	120	62	29	Calcaire altérée
125	63	62	Calcaire altérée	138	67	36	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux
142	20	68	Limons graveleux	153	72	7	Limons graveleux	156	73	12	Gabions
159	74	12	Limons graveleux	166	76	37	Gabions	175	79	11	Limons graveleux
178	80	11	Limons graveleux	183	82	56	Limons graveleux	184	82	17	Limons graveleux
187	83	17	Limons graveleux	190	84	76	Gabions	191	84	52	Gabions
199	87	79	Limons graveleux	200	87	72	Limons graveleux	202	88	80	Limons graveleux
203	88	73	Gabions	205	89	74	Limons graveleux	206	89	56	Limons graveleux
211	91	83	Limons graveleux	212	91	22	Gabions	224	94	95	Calcaire altérée
237	100	67	Calcaire altérée	238	100	63	Calcaire altérée	241	94	102	Calcaire altérée
242	20	102	Limons graveleux	243	101	103	Calcaire altérée	246	103	102	Calcaire altérée
247	22	104	Gabions	248	95	104	Gabions	249	104	105	Calcaire altérée
252	105	106	Calcaire altérée	255	106	107	Calcaire altérée	258	107	36	Calcaire altérée

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle				
1	0,000	3,257	0,00	2	5,000	-0,500	0,00	3	11,400	-1,000	0,00	4	15,157	-4,118	0,00	5	16,517	-4,500	0,00
6	20,000	-4,500	0,00																

Fond de la nappe

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,00	2,75	2	5,00	-1,00	3	11,50	-1,61	4	15,15	-4,66	5	16,53	-4,90
6	20,00	-4,90												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{a1}	1,000	Γ_{a1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{ou}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,trait,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,trait,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,trait}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{bucon}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 12,221; Y= -2,166

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1183

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 564; X0= 19,14; Y0= 5,07; R= 10,01

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ _v (kN/m³)	24,00	18,00	21,00	17,00	17,00	18,00	18,00	19,00	26,00	
φ (°)	35,00	30,00	35,00	40,00	35,00	28,00	33,00	35,00		
c (kPa)	20,00	2,00	10,00	10,00	2,00	0,00	0,00			
Ac (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Phase : Retro-analyse 1 gabion base / Situation : Situation 1

Données de la situation 1

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base altéré

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ _{min}	1,000	Γ _{s1}	1,000	Γ _{s1}	1,000	Γ _φ	1,000	Γ _{c'}	1,000	Γ _{cu}	1,000
Γ _Q	1,000	Γ _{qsl,clou,ab}	1,000	Γ _{qsl,clou,es}	1,000	Γ _{qsl,tirant,ab}	1,000	Γ _{qsl,tirant,es}	1,000	Γ _{qsl,bande}	1,000
Γ _{pl}	1,000	Γ _{a,clou}	1,000	Γ _{a,tirant}	1,000	Γ _{a,bande}	1,000	Γ _{buton}	1,000	Γ _{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 12,221; Y= -2,166

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9942

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 564; X0= 19,14; Y0= 5,07; R= 10,01

Données de la phase 4

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base altéré

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Limons graveleux	6	10	3	Limons graveleux	7	4	10	Gabions
8	10	9	Gabions	14	14	15	Gabions	17	15	8	Gabions
22	16	13	Gabions base	23	13	14	Gabions	25	16	17	Gabions base
33	19	20	Gabions base	35	2	23	Couche de forme	39	26	8	Gabions
44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée	46	25	29	Calcaire altérée
48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux	50	35	23	Limons graveleux
56	9	37	Gabions	59	40	3	Limons graveleux	60	40	23	Limons graveleux
75	47	13	Gabions base	76	47	19	Gabions base	79	48	26	Gabions
80	48	4	Gabions	83	49	27	Gabions	84	49	7	Gabions
94	52	27	Gabions	120	62	29	Calcaire altérée	125	63	62	Calcaire altérée
138	67	38	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux	142	20	68	Limons graveleux
153	72	7	Limons graveleux	156	73	12	Gabions	159	74	12	Limons graveleux
166	76	37	Gabions	175	79	11	Limons graveleux	178	80	11	Limons graveleux
183	82	56	Limons graveleux	184	82	17	Limons graveleux	187	83	17	Limons graveleux
190	84	76	Gabions	191	84	52	Gabions	199	87	79	Limons graveleux
200	87	72	Limons graveleux	202	88	80	Limons graveleux	203	88	73	Gabions
205	89	74	Limons graveleux	206	89	56	Limons graveleux	211	91	83	Limons graveleux
212	91	22	Gabions base	224	94	95	Calcaire altérée	237	100	67	Calcaire altérée
238	100	63	Calcaire altérée	241	94	102	Calcaire altérée	242	20	102	Limons graveleux
243	101	103	Calcaire altérée	246	103	102	Calcaire altérée	247	22	104	Gabions base
248	95	104	Gabions base	249	104	105	Calcaire altérée	252	105	106	Calcaire altérée
255	106	107	Calcaire altérée	258	107	36	Calcaire altérée				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	3,257	0,00	2	5,000	-0,500	0,00	3	11,400	-1,000	0,00	4	15,157	-4,118	0,00
6	20,000	-4,500	0,00												

Fond de la nappe

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,00	2,75	2	5,00	-1,00	3	11,50	-1,61	4	15,15	-4,66
6	20,00	-4,90									

Données de la phase 5

Nom de la phase : Provisoire

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Limons graveleux	35	2	23	Couche de forme	44	24	25	Calcaire altérée
45	28	24	Calcaire altérée	46	25	29	Calcaire altérée	48	2	34	Limons graveleux
49	34	35	Limons graveleux	50	35	23	Limons graveleux	59	40	3	Limons graveleux passage refusé
60	40	23	Limons graveleux	61	40	41	Limons graveleux	62	41	3	Limons graveleux passage refusé
91	41	51	Limons graveleux	120	62	29	Calcaire altérée	125	63	62	Calcaire altérée
140	59	64	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux	143	64	69	Calcaire altérée
227	51	96	Limons graveleux	233	96	99	Limons graveleux	236	99	100	Limons graveleux
238	100	63	Calcaire altérée	239	100	98	Calcaire altérée	240	98	59	Calcaire altérée
243	101	103	Calcaire altérée	244	103	69	Calcaire altérée	245	103	68	Limons graveleux

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Clous : Clou 1
Clou 2

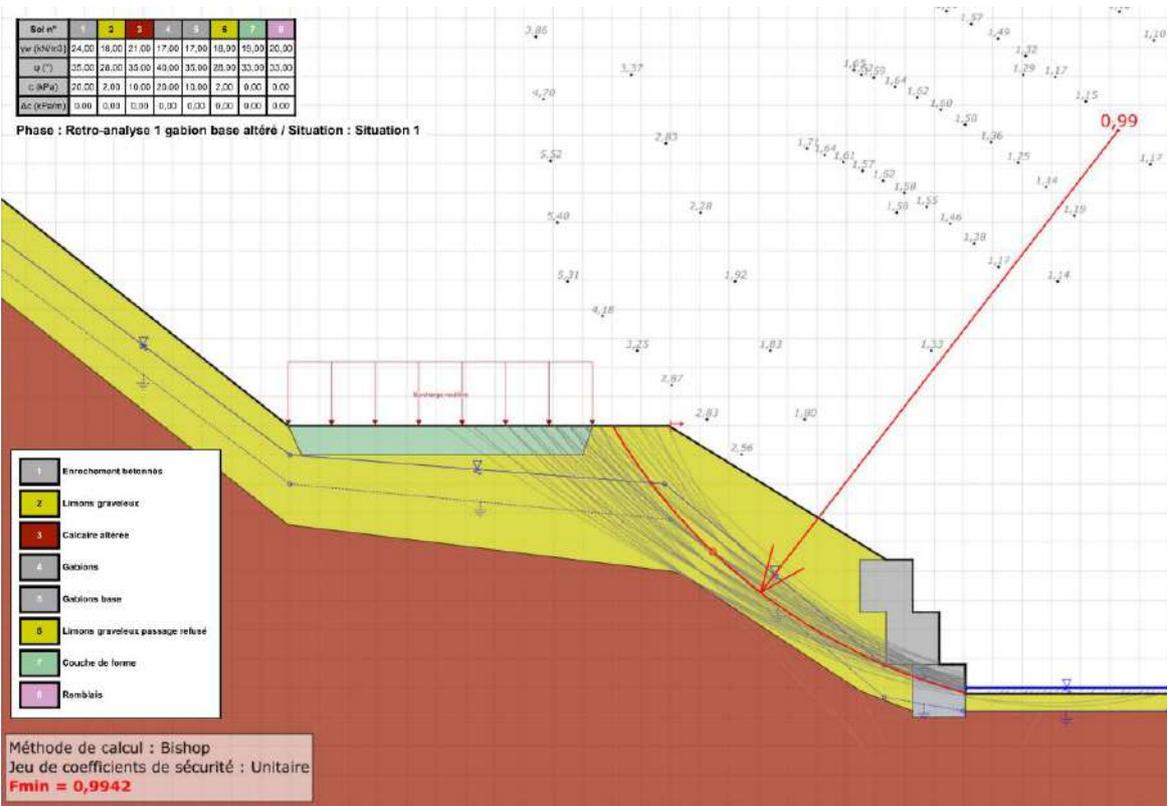
Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle																
1	0,000	2,876	0,00	2	5,000	-1,119	0,00	3	11,500	-2,061	0,00	4	12,058	-2,680	0,00	5	14,792	-5,500	0,00
6	17,500	-5,500	0,00	7	18,000	-4,624	0,00	8	20,000	-4,644	0,00								

Fond de la nappe

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y			
1	0,00	2,31	2	2,65	0,19	3	5,00	-1,67	4	11,42	-2,55	5	14,78	-6,00
6	17,59	-6,00	7	18,10	-5,10	8	20,00	-5,10						



Données de la situation 1

Nom de la phase : Provisoire

Nom de la situation : Terrassements

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant - Provisoire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{φ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,050

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,483

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 14,800; Y= -5,500

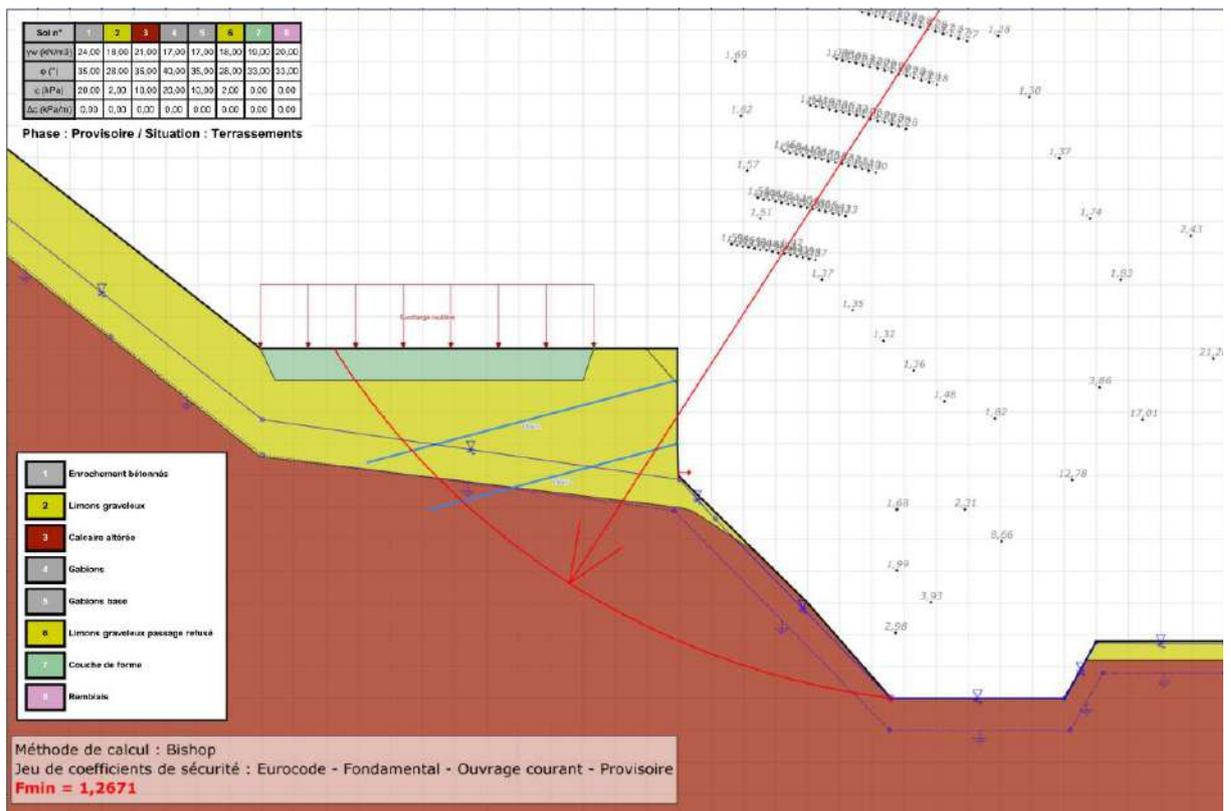
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2671

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1935; X0= 16,26; Y0= 6,42; R= 12,01



Données de la phase 6

Nom de la phase : Definitif

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		
1	1	2	Limons graveleux	26	5	20	Enrochement bétonnés	35	2	23	Couche de forme
44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée	48	25	29	Calcaire altérée
48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux	50	35	23	Limons graveleux
59	40	3	Limons graveleux passage refusé	60	40	23	Limons graveleux	61	40	41	Limons graveleux
62	41	3	Limons graveleux passage refusé	91	41	51	Limons graveleux	120	62	29	Calcaire altérée
123	25	60	Limons graveleux passage refusé	124	60	63	Limons graveleux passage refusé	125	63	62	Calcaire altérée
127	63	59	Calcaire altérée	128	53	58	Enrochement bétonnés	130	64	65	Remblais
133	65	66	Remblais	136	66	67	Remblais	139	67	58	Remblais
140	59	64	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux	142	20	68	Enrochement bétonnés
143	64	69	Calcaire altérée	145	53	70	Enrochement bétonnés	189	70	84	Enrochement bétonnés
192	84	85	Enrochement bétonnés	195	85	86	Enrochement bétonnés	198	86	87	Enrochement bétonnés
201	87	88	Enrochement bétonnés	204	88	89	Enrochement bétonnés	207	89	90	Enrochement bétonnés
210	90	91	Enrochement bétonnés	213	91	5	Enrochement bétonnés	227	51	96	Limons graveleux
228	96	58	Remblais	229	60	97	Limons graveleux	232	97	96	Limons graveleux
243	101	103	Calcaire altérée	244	103	69	Calcaire altérée	245	103	68	Limons graveleux

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Surcharge routière

Clous : Clou 1
Clou 2

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	
1	0,000	2,855	0,00	2	5,000	-1,187	0,00	3	11,500	-2,049	0,00	4	14,500	-4,332	0,00
6	20,000	-4,500	0,00												

Fond de la nappe

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	0,00	2,25	2	2,50	0,25	3	5,00	-1,68
6	15,63	-4,90	7	20,00	-4,91			

Données de la situation 1

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité générale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 14,627

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 6,269; Y= -2,121

Nombre de tranches : 100

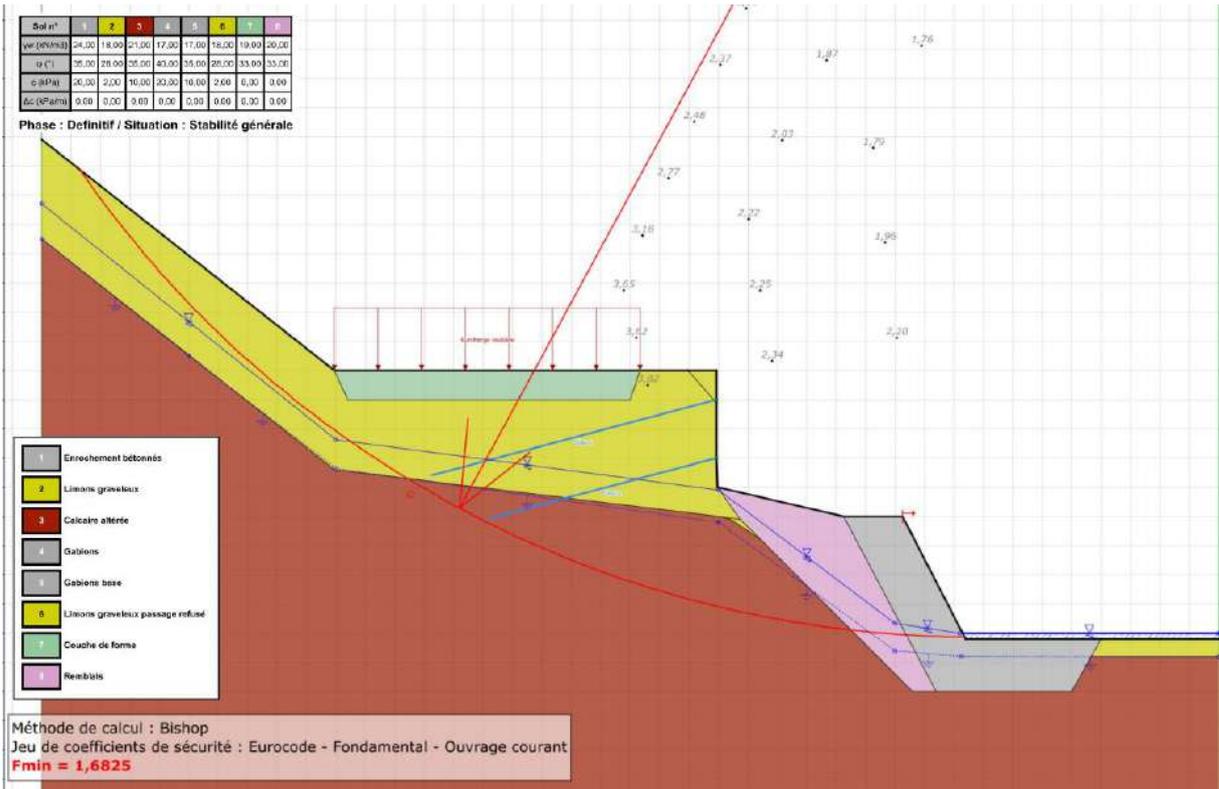
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Limons graveleux passage refusé

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6825

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 506; X0= 15,84; Y0= 13,86; R= 18,42



Données de la situation 2

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité mixte paroi

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant - Provisoire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ _{min}	1,000	Γ _{s1}	1,000	Γ _{s1}	1,000	Γ _φ	1,250	Γ _{c'}	1,250	Γ _{cu}	1,400
Γ _Q	1,300	Γ _{qsl,clou,ab}	1,150	Γ _{qsl,clou,es}	1,150	Γ _{qsl,tirant,ab}	1,400	Γ _{qsl,tirant,es}	1,000	Γ _{qsl,bande}	1,100
Γ _{pl}	1,400	Γ _{a,clou}	1,000	Γ _{a,tirant}	1,000	Γ _{a,bande}	1,250	Γ _{buton}	1,000	Γ _{s3}	1,050

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 11,500; Y= -2,024

Nombre de tranches : 100

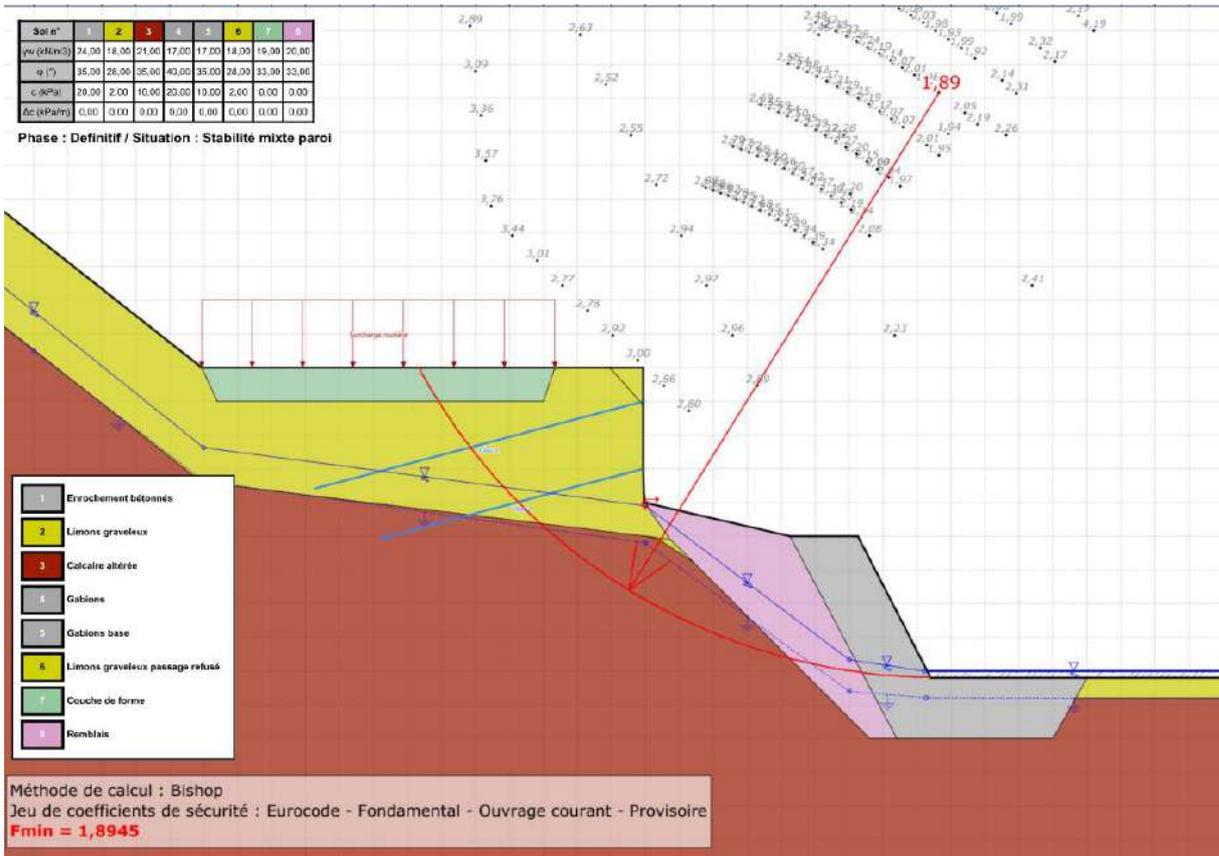
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage imposé dans Limons graveleux
 et
 Passage refusé dans Limons graveleux passage refusé

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,8945

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 644; X0= 15,82; Y0= 4,08; R= 8,67



Données de la situation 3

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité enrochements

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{φ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abcisse émergence limite aval : 14,627

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 13,790; Y= -3,887

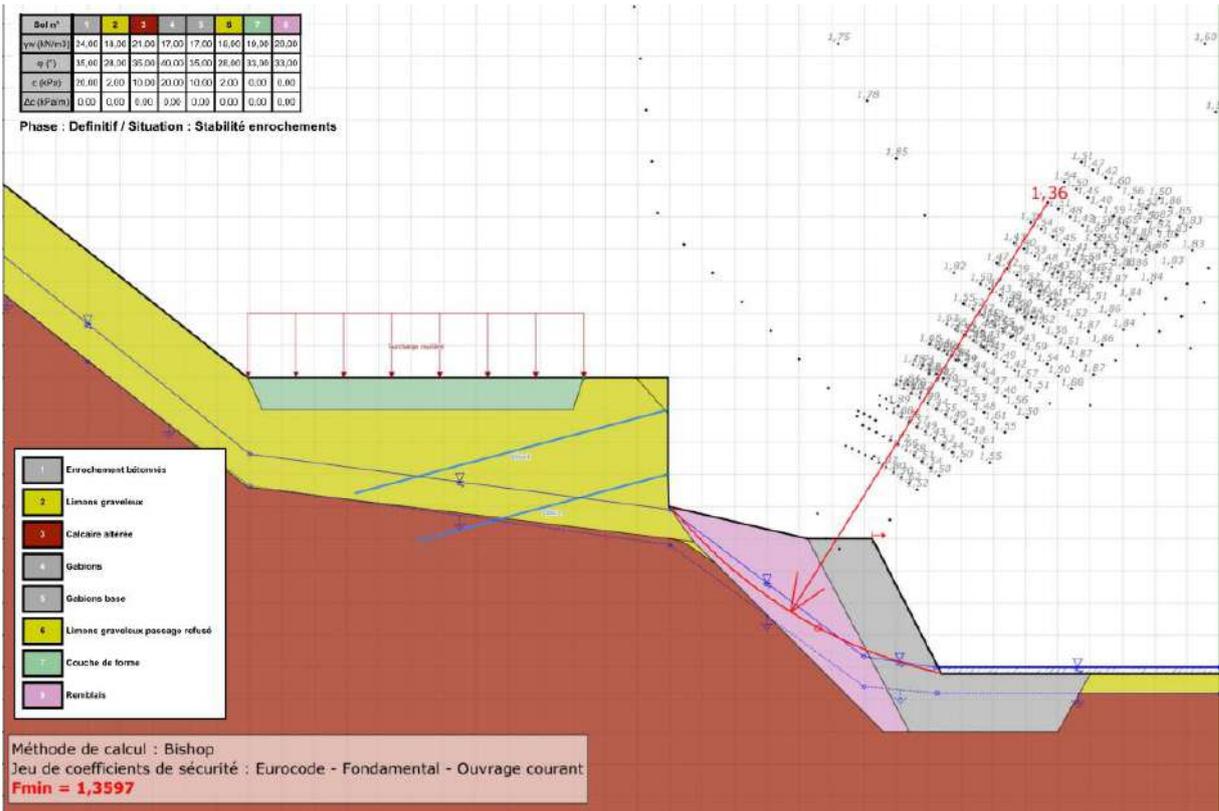
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,3597

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2960; X0= 17,34; Y0= 2,72; R= 7,50



Données de la phase 7

Nom de la phase : Definitif sismique

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Soil sous-jacent	Point 1	Point 2	Soil sous-jacent	Point 1	Point 2	Soil sous-jacent		
1	1	2	Limons graveleux	26	5	20	Enrochement bétonnés	35	2	23	Couche de forme
44	24	25	Calcaire altérée	45	28	24	Calcaire altérée	46	25	29	Calcaire altérée
48	2	34	Limons graveleux	49	34	35	Limons graveleux	50	35	23	Limons graveleux
59	40	3	Limons graveleux passage refusé	60	40	23	Limons graveleux	61	40	41	Limons graveleux
62	41	3	Limons graveleux passage refusé	91	41	51	Limons graveleux	120	62	29	Calcaire altérée
123	25	60	Limons graveleux passage refusé	124	60	63	Limons graveleux passage refusé	125	63	62	Calcaire altérée
127	63	59	Calcaire altérée	128	53	58	Enrochement bétonnés	130	64	65	Remblais
133	65	66	Remblais	136	66	67	Remblais	139	67	58	Remblais
140	59	64	Calcaire altérée	141	6	68	Limons graveleux	142	20	68	Enrochement bétonnés
143	64	69	Calcaire altérée	145	53	70	Enrochement bétonnés	189	70	84	Enrochement bétonnés
192	84	85	Enrochement bétonnés	195	85	86	Enrochement bétonnés	198	86	87	Enrochement bétonnés
201	87	88	Enrochement bétonnés	204	88	89	Enrochement bétonnés	207	89	90	Enrochement bétonnés
210	90	91	Enrochement bétonnés	213	91	5	Enrochement bétonnés	227	51	96	Limons graveleux
228	96	58	Remblais	229	60	97	Limons graveleux	232	97	96	Limons graveleux
243	101	103	Calcaire altérée	244	103	69	Calcaire altérée	245	103	68	Limons graveleux

Liste des éléments actifs

Clous : Clou 1
Clou 2

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle			
1	0,00	2,852	0,00	2	5,000	-1,162	0,00	3	11,500	-2,052	0,00	4	14,650	-4,430	0,00
6	20,000	-4,500	0,00												

Fond de la nappe

	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	0,00	2,31	2	2,50	0,26	3	5,00	-1,69	4	11,50	-2,61
6	20,00	-5,00									

Données de la situation 1

Nom de la phase : Définitif sismique

Nom de la situation : Séisme pesant

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl.bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a.bande}$	1,250	Γ_{bulon}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,483

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 10,000; Y= -2,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

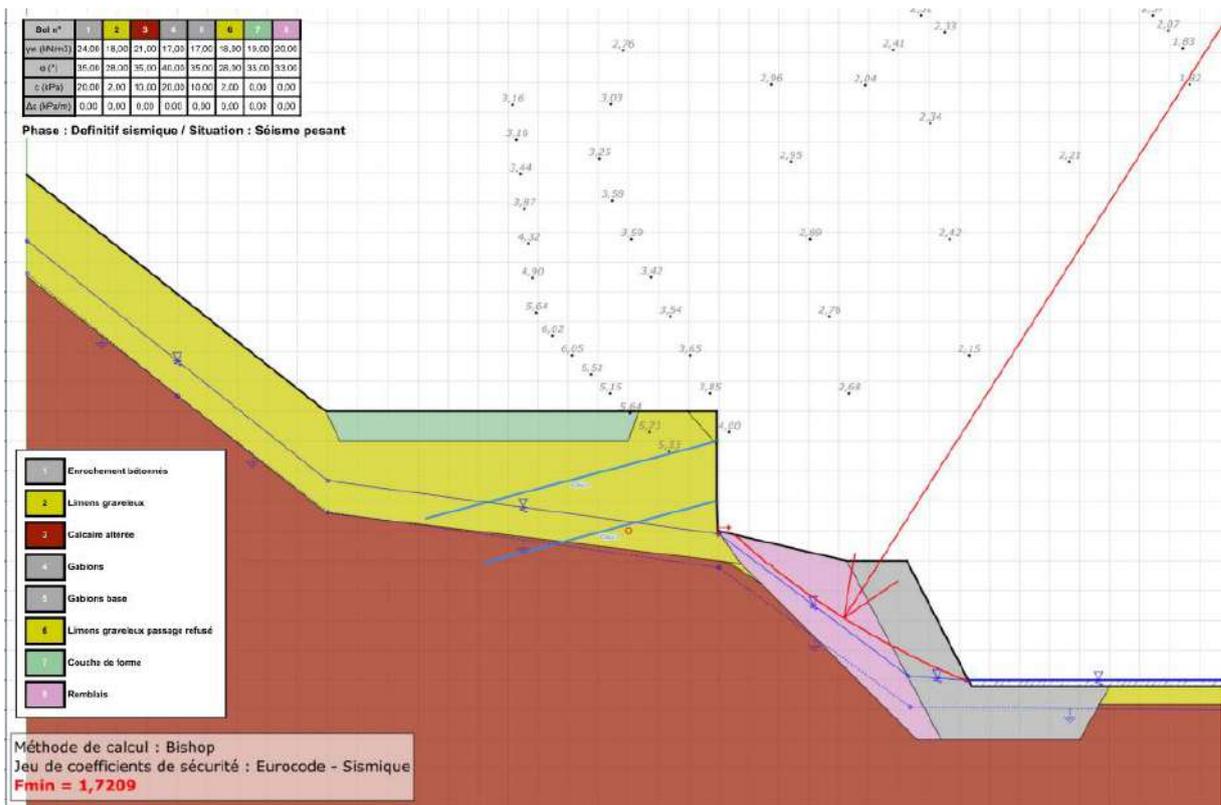
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,082

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,041

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,7209

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 790; X0= 20,59; Y0= 7,59; R= 13,09



Données de la situation 2

Nom de la phase : Définitif sismique

Nom de la situation : Séisme allégeant

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant - Provisoire

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,050

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,483

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 10,118; Y= -2,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

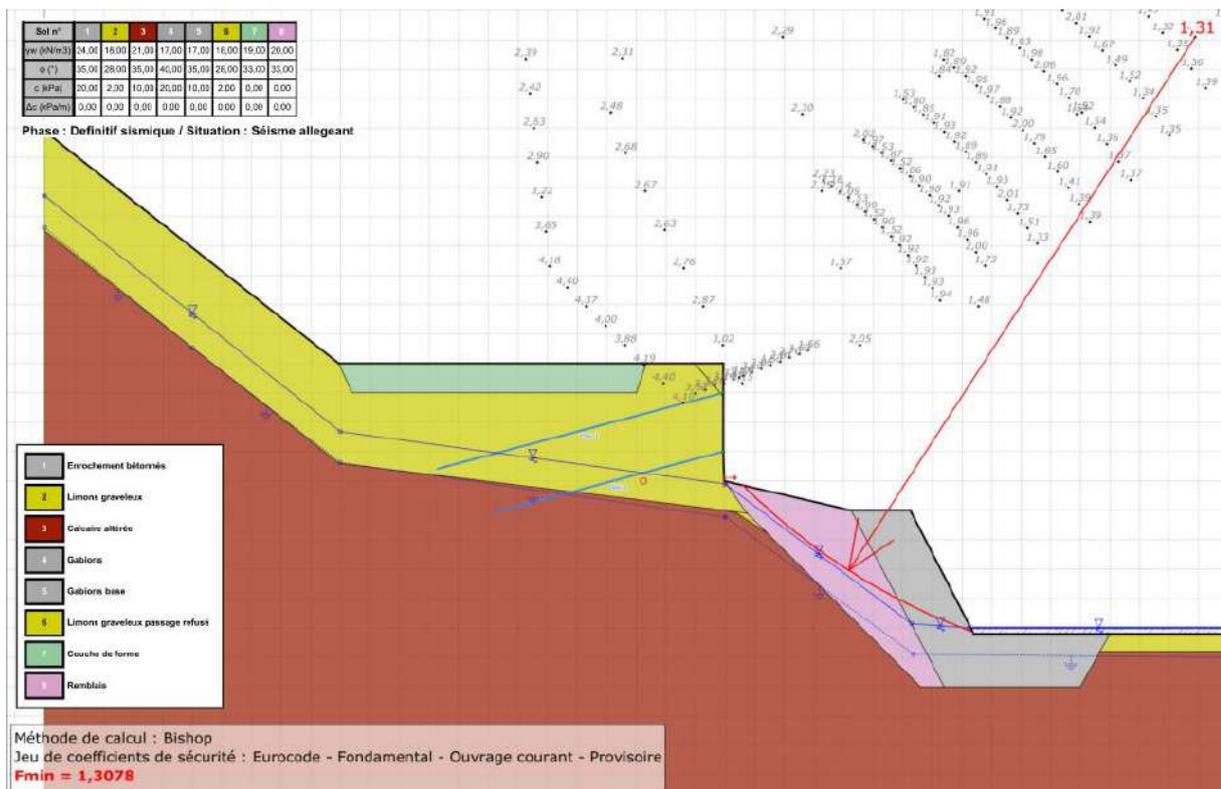
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,082

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,041

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,3078

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 88; X0= 19,44; Y0= 5,55; R= 10,79



Données de la situation 3

Nom de la phase : Definitif sismique

Nom de la situation : Séisme pesant - Stabilité 2 ouvrages

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 9,766; Y= -1,751

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,082

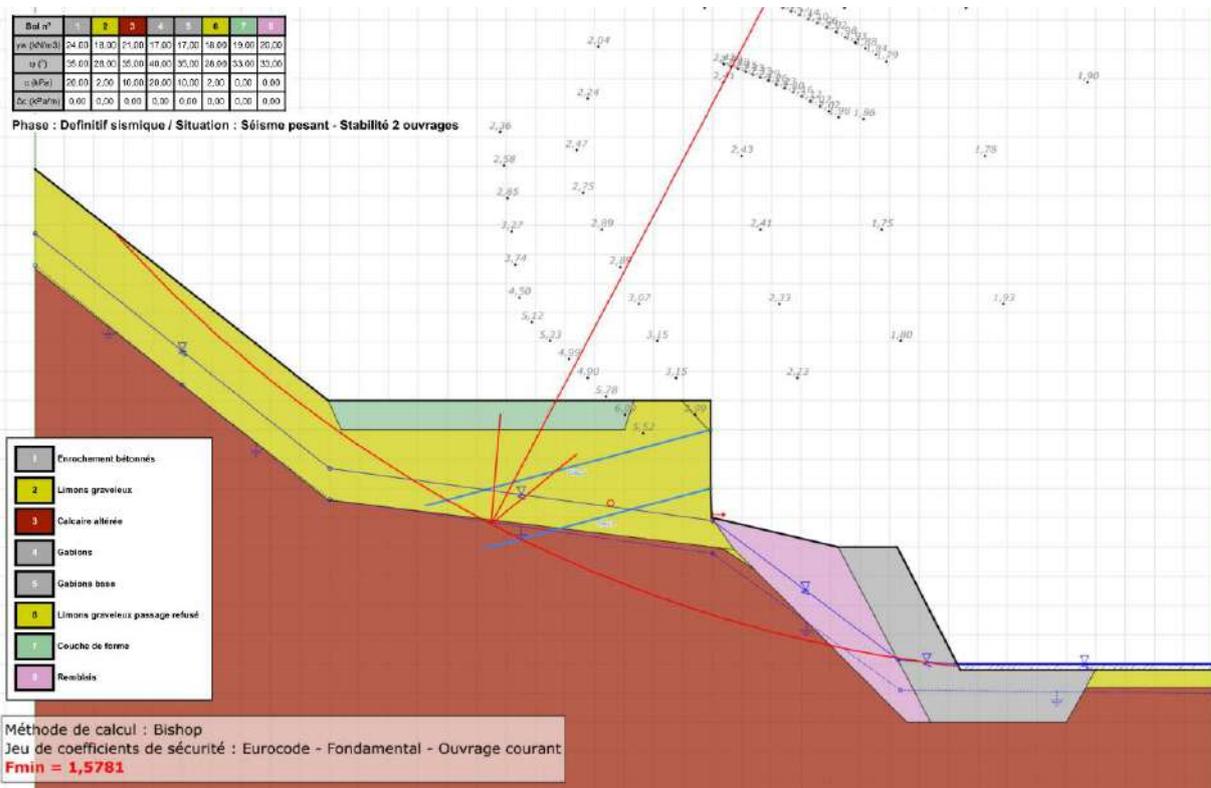
Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,041

Conditions de passage dans certains sols : Passage imposé dans Limons graveleux

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5781

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59



Données de la situation 4

Nom de la phase : Définitif sismique

Nom de la situation : Séisme allégeant - Stabilité 2 ouvrages

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,150	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 11,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 9,766; Y= -1,751

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,082

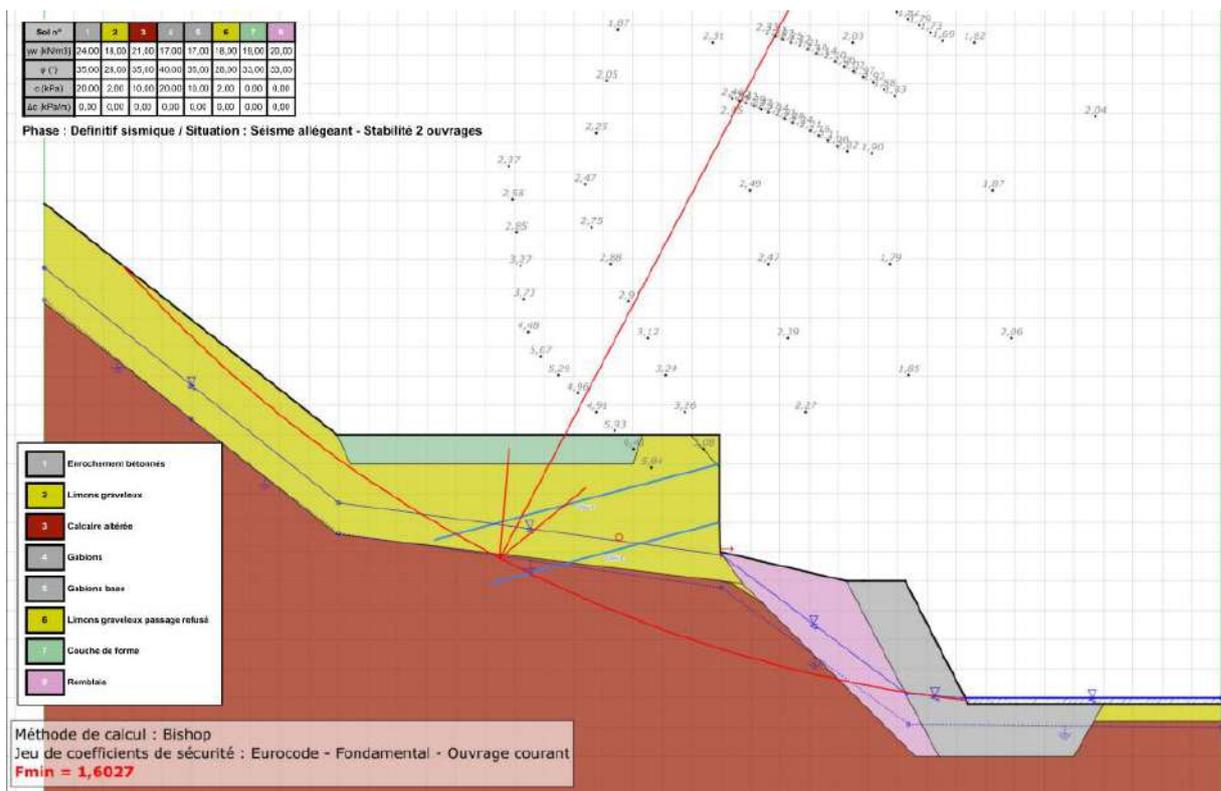
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,041

Conditions de passage dans certains sols : Passage imposé dans Limons graveleux

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6027

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59



Efforts détaillés par renforcement

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base

Nom de la situation : Situation 1

Surface critique : N°= 2536; X0= 21,57; Y0= 11,77; R= 16,78

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Retro-analyse 2 gabions base - 1 gabion altéré

Nom de la situation : Situation 1

Surface critique : N°= 2054; X0= 23,27; Y0= 12,46; R= 18,33

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base

Nom de la situation : Situation 1

Surface critique : N°= 564; X0= 19,14; Y0= 5,07; R= 10,01

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Retro-analyse 1 gabion base altéré

Nom de la situation : Situation 1

Surface critique : N°= 564; X0= 19,14; Y0= 5,07; R= 10,01

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Provisoire

Nom de la situation : Terrassements

Surface critique : N°= 1935; X0= 16,26; Y0= 6,42; R= 12,01

N°= 1935; X0= 16,26; Y0= 6,42; R= 12,01

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,720	9,000	2	1	0,000	0	0
2	Clou 2	0,530	30,850	2	1	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité générale

Surface critique : N°= 506; X0= 15,84; Y0= 13,86; R= 18,42

N°= 506; X0= 15,84; Y0= 13,86; R= 18,42

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0
2	Clou 2	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité mixte paroi

Surface critique : N°= 644; X0= 15,82; Y0= 4,08; R= 8,67

N°= 644; X0= 15,82; Y0= 4,08; R= 8,67

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	2,370	29,490	2	1	0,000	0	0
2	Clou 2	2,090	90,040	2	1	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif

Nom de la situation : Stabilité enrochements

Surface critique : N°= 2960; X0= 17,34; Y0= 2,72; R= 7,50

N°= 2960; X0= 17,34; Y0= 2,72; R= 7,50

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0
2	Clou 2	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif sismique

Nom de la situation : Séisme pesant

Surface critique : N°= 790; X0= 20,59; Y0= 7,59; R= 13,09

N°= 790; X0= 20,59; Y0= 7,59; R= 13,09

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0
2	Clou 2	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif sismique

Nom de la situation : Séisme allégeant

Surface critique : N°= 88; X0= 19,44; Y0= 5,55; R= 10,79

N°= 88; X0= 19,44; Y0= 5,55; R= 10,79

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0
2	Clou 2	0,000	0,000	0	0	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif sismique

Nom de la situation : Séisme pesant - Stabilité 2 ouvrages

Surface critique : N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59

N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,370	4,550	2	1	0,000	0	0
2	Clou 2	0,660	38,390	2	1	0,000	0	0

Efforts dans les renforcements

Nom de la phase : Definitif sismique

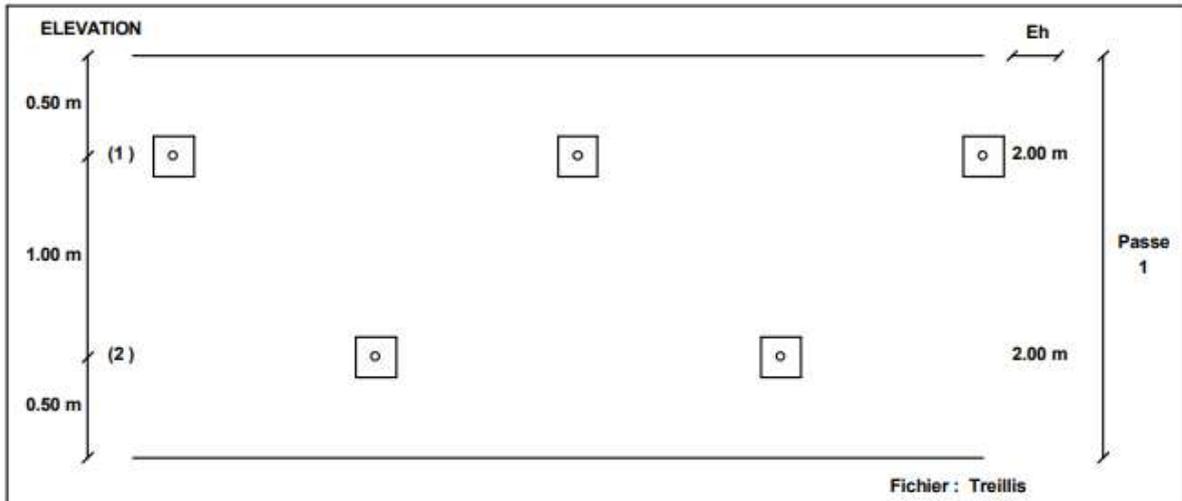
Nom de la situation : Séisme allégeant - Stabilité 2 ouvrages

Surface critique : N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59

N°= 2045; X0= 18,21; Y0= 17,90; R= 22,59

	Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
1	Clou 1	0,370	4,550	2	1	0,000	0	0
2	Clou 2	0,660	38,390	2	1	0,000	0	0

D. RÉSULTATS ISSUS DES CALCULS GEOSPAR



GEOSPAR©2014 du 07/09/2017
<http://www.geos.fr> / E-MAIL: logiciels@geos.fr

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av Marie Curie
 Bâtiment Europa 2, 74160 ARCHAMPS - FRANCE

TEL: 04 50 95 38 14
 FAX: 04 50 95 99 36

DONNEES

Force dans les clous		(1)	(2)	
ELU fondamental		28.00	25.00	kN
ELS		20.74	18.52	kN
Rapport entre contrainte min et contrainte max : 0.000				
Plaque d'appui				
Dimensions		20.00 *	20.00	cm
Pl (sol derrière béton)		0.00		MPa
Béton				
Epaisseur		20.		cm
Epaisseur sous plaque		10.		cm
Enrobage terre [1]		5.		cm
Enrobage air [2]		5.		cm
Fck		25.00		MPa
Classe d'exposition		XD1		
Armatures				
		[1]	[2]	
Type Acier		S-500		
Adherence		Classe A		

EPAISSEUR DE PLAQUE

Lit n°	(1)	(2)	
	0.616	0.582	cm

PASSE 1

FLEXION		Appui [1] Horizontal	Appui [1] Vertical	Travee [2] Horizontal	Travee [2] Vertical	
ELU	moment	-2.86	-2.40	1.02	0.278	kN.m/m
	section d'acier	0.42	0.35	0.15	0.04	cm ² /m
ELS	moment	-2.12	-1.78	0.753	0.206	kN.m/m
	section d'acier	0.36	0.30	0.13	0.03	cm ² /m
Section d'acier retenue		0.42	0.35	0.15	0.04	cm ² /m
Sections d'acier suivant la norme NF EN 1992-1-1						

Fissuration suivant NF 1992-1-1/NA	Appui [1] Horizontal	Appui [1] Vertical	Travee [2] Horizontal	Travee [2] Vertical	
Espacement proposé	200.00	225.00	300.00	300.00	mm
Diamètre proposé	6.00	6.00	6.00	6.00	mm
Section proposée	1.41	1.26	0.94	0.94	cm ² /m
Contrainte dans le béton	1.20	1.06	0.51	0.14	MPa
Contrainte admissible dans le béton	11.25	11.25	11.25	11.25	MPa
Ouverture de fissuration maxi admissible	0.20	0.20	0.20	0.20	mm
Ouverture de fissuration	0.19	0.20	0.14	0.04	mm

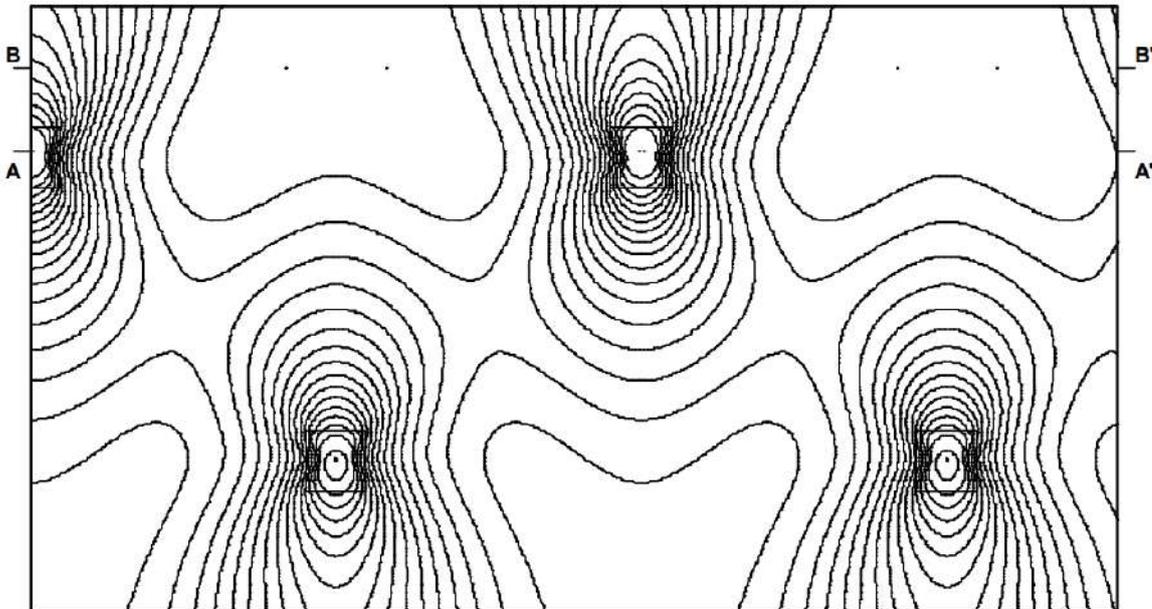
POINÇONNEMENT	Ved :	VEd,0	VRd,max	VEd,1	VRd,c
ELU fondamental	28.00 kN	0.70	< 4.50	0.39	< 0.49

Pas de panier de renforcement en tete de clou

CARTE ISOVALEURS

Moments selon X :

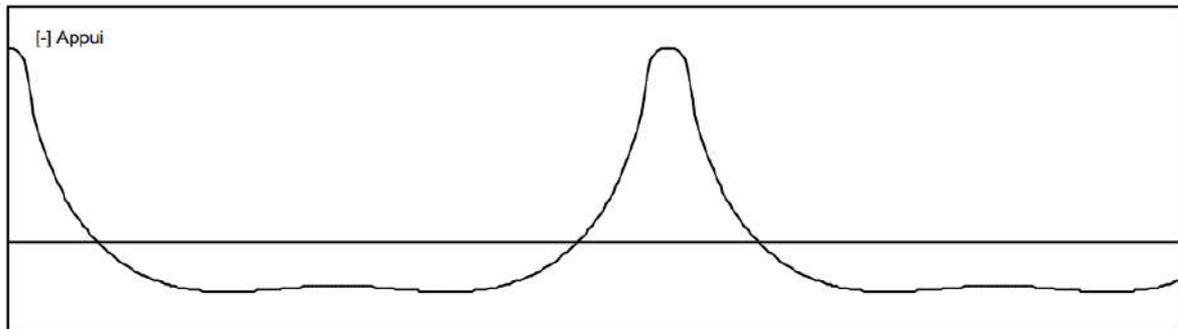
ELU fondamental



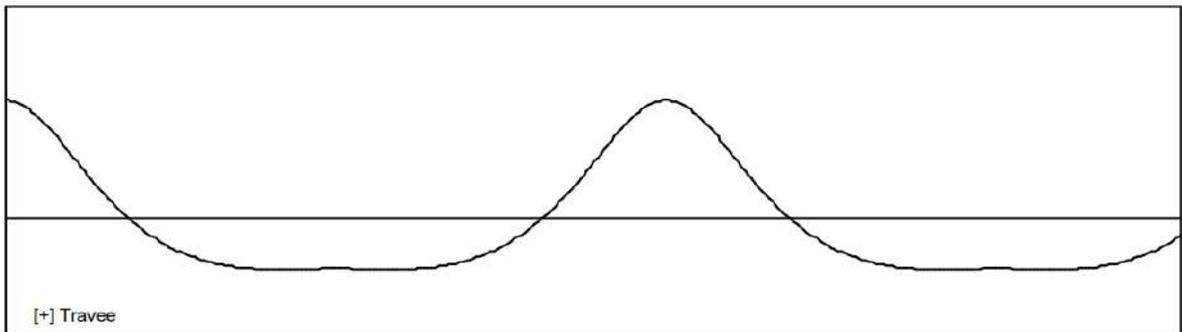
COUPE AA' MAXIMUM SUR APPUIS

Moment sur appui (kN.m) = -3.86568

Moment écreté (kN.m) = -2.86004



COUPE BB' MAXIMUM EN TRAVÉE
 Moment en travée (kN.m) = 1.01664



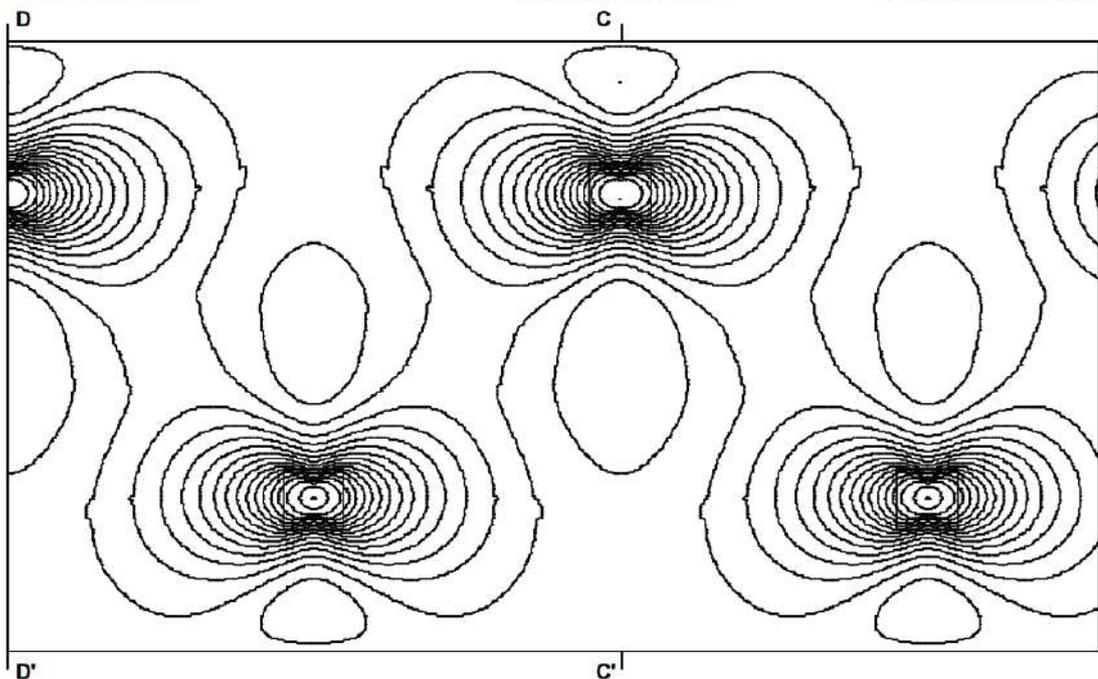
GEOSPAR©2014 du 07/09/17 développé par GEOS

Fichier : Treillis

CARTE ISOVALEURS

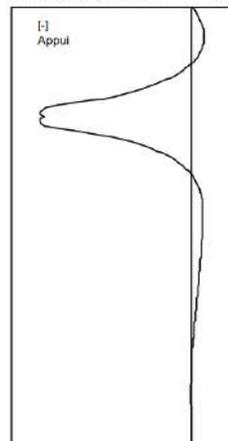
Moments selon Y :

ELU fondamental



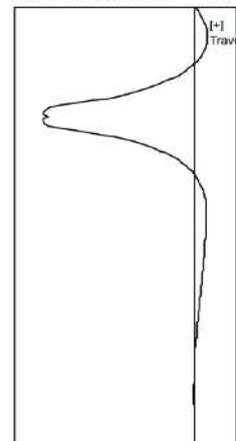
COUPE CC' MAXIMUM SUR APPUIS

Moment sur appui (kN.m) = -3.27021
 Moment écrété (kN.m) = -2.40442



COUPE DD' MAXIMUM EN TRAVÉE

Moment en travée (kN.m) = 0.277979



E. PLAN DE SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE 2022-2023



PLAN ANNÉE 2022-2023 SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE

GÉOLITHE Fonctionnement Courant

L'objectif est de réduire notre consommation énergétique de **10%** par rapport à l'année précédente !

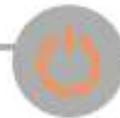
ELECTRICITÉ

Chauffage :

19° le jour
16°C la nuit (20h-6h) et WE,
8°C lorsque inoccupé + de 3 jours
Climatisation : 26°



Mise en veille automatique
des écrans et ordinateurs



Eteindre les écrans d'ordinateurs en fin
de journée
Déconnecter et **débrancher** vos
appareils



Extinction des lumières inutiles
et/ou ajustement de l'intensité
lumineuse des bureaux



Limiter la température des
ballons d'eau chaude à 55°
max, sauf réglementation
hygiène et sécurité



Fermeture des volets soir et week-end

Fermeture des portes donnant sur local non tempéré
Maintenir au maximum les portes des garages fermées



CARBURANT

Privilégier le télétravail
(selon la charte géolithe)
afin de diminuer
l'empreinte liée aux
transports carbonés.



Covoiturer tant que
possible et privilégier les
mobilités douce pour les
trajets domicile/travail.



Rendez-vous sur l'intranet LEVADA pour voir le suivi de notre consommation !
En cas de forte tension sur le réseau (Alerte EcoWatt de RTE), d'autres mesures seront communiquées

DOS DU RAPPORT

Etudiant : DE SOUZA MATA, Felipe

Année d'étude dans la spécialité :
2022-2023

Entreprise : GÉOLITHE

Adresse complète : 181 rue de bécasses, 38920 Crolles

Téléphone : 0476922222

Responsable administratif : VERDIER, Jean- Marc

Téléphone : 0476922222

Courriel : jm.verdier@geolithe.com

Tuteur de stage : ANDRÉ, Jean-Baptiste

Téléphone : 0630977313

Courriel : jb.andre@geolithe.com

Enseignant-référent : NAILLON, Antoine

Téléphone : 0476825176

Courriel : Antoine.Naillon@univ-grenoble-alpes.fr

Titre : Participation aux études géotechniques

Résumé :

Dans le cadre de la formation en Géotechnique et Génie Civil à l'école d'ingénieur Polytech Grenoble, j'ai réalisé mon stage de fin d'études dans le domaine des études géotechniques chez GÉOLITHE, au sein de l'agence Alpes à Crolles. Pendant cette période, j'ai pu explorer le métier de l'ingénieur d'études dans un bureau d'ingénierie et ses différentes attributions. Pour ce faire, j'ai participé à plusieurs missions en phases d'avancement distinctes, principalement, liées à la conception des ouvrages.

En outre, j'ai eu l'opportunité de développer un fil rouge sur la corrosivité des terrains appliqué aux cas de massifs en sol cloué, conformément les nouvelles exigences de la norme NF-P 94-270 d'octobre 2020. Dans l'ensemble, ce stage m'a permis de développer des compétences techniques et transversales requises pour mon avenir professionnel en tant qu'ingénieur.